

Optimierung der Energieversorgung in der Stadt Ust-Kamenogorsk

Von der

Fakultät für Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina
zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades einer

Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.)

genehmigte

Dissertation

von Gulzhan Tleukenova

geboren am 13.12.1982

aus V-Kazakhstanskaya (Katon-Karagai, Kasachstan)

Eingereicht am: 15.09.2009

Disputation am: 10.11.2009

Berichterstatte: Prof. Dr.-Ing. M. N. Fisch

Prof. Dr. techn. R. Leithner

2009

Von der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erladung des Grades einer Doktoringenieurin (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

Eingereicht am:	15.09.2009
Disputation am:	10.11.2009
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. M. N. Fisch Prof. Dr. techn. R. Leithner

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner wissenschaftlichen Tätigkeit am Institut für Wärme- und Brennstofftechnik und am Institut für Gebäude- und Solartechnik der Technischen Universität Braunschweig und wurde mit Mitteln des Zentrums für internationale Programme „Bolaschak“ des Präsidenten der Republik Kasachstan und des Deutschen Akademischen Austauschdienstes gefördert.

An erster Stelle bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. M.N. Fisch, dem Direktor des Instituts für Gebäude- und Solartechnik, für die fachliche Betreuung der Arbeit und die wertvollen Diskussionen, die wesentlich zur Entwicklung des Themas und Entstehens der Arbeit beigetragen haben.

Ich möchte mich ganz herzlich und besonders bei Herrn Prof. Dr. techn. Reinhard Leithner, dem Institutsdirektor des IWBT dafür bedanken, dass er mir die Gelegenheit gegeben hat, an seinem Institut zu arbeiten. Ich danke ihm nicht nur für die fachlich ausgezeichnete Unterstützung, sondern auch dafür, dass er mir während meiner Arbeit die Möglichkeit gab, an Konferenzen und an Ausstellungen teilzunehmen.

Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Dr.-Ing. Lars Kühl am Institut für Gebäude- und Solartechnik für die wertvollen Hinweise und tatkräftige Unterstützung bei der Umsetzung und Fertigstellung der Arbeit. Mein Dank gilt auch ganz herzlich Herrn Dipl.-Ing. Mike Heuer, der im Rahmen seiner Studien- und Diplomarbeiten zur vorliegenden Arbeit beigetragen hat.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Institutes für Wärme- und Brennstofftechnik, die mit Geduld und Mühe zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlichst gedankt. Persönlicher Dank gilt meinen Freunden Herrn MSc. Sohail Ahmed, Dipl.-Phys. Christian Wesemeyer, Dipl.-Ing. Martin Stelow für die Unterstützung bei der notwendigen Übersetzung der Artikel in die englische und deutsche Sprache.

Ich bedanke mich bei allen Freunden, die ich während meines Aufenthaltes in Deutschland kennen gelernt habe, für die interessante Ausgestaltung meiner Freizeit, wodurch ich auch meine Deutschkenntnisse verbesserte. Besonders danke ich Frau Dipl.-Ing. Lindrun Winkler, die mir bei der Korrektur der Arbeit geholfen hat.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern und Geschwistern für den moralischen Beistand, und der kasachischen Regierung für die finanzielle Unterstützung während meines ganzen Aufenthalts in Deutschland.

KURZFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wird eine vergleichende Betrachtung zwischen der Energiesituation in Deutschland und Kasachstan durchgeführt. Die Energiere Ressourcen in Kasachstan sind regional ungleichmäßig verteilt, so dass der Energiebedarf in unterschiedlichen Landesteilen durch verschiedene Energieträger gedeckt wird. Die Deckung des Bedarfs durch fossile Energieträger führt mit der eingesetzten Erzeugungstechnologie zu hohen Umweltbelastungen. Ein weiterer Faktor ist die Endlichkeit der fossilen Energieträger. Die Entwicklung energetisch effizienter Energieversorgungssysteme und die energetisch sowie wirtschaftlich sinnvolle Deckung des Bedarfs durch regenerative Energieträger, stehen deshalb im Mittelpunkt der Arbeit.

Da die Wärmeversorgung von Gebäuden weltweit einen wesentlichen Anteil des Energieverbrauchs darstellt, sind in vielen Ländern bereits Gesetze und Verordnungen zu dessen Begrenzung in Kraft getreten. Im Rahmen dieser Verordnungen werden Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz sowie die Effizienz der Gebäude- und Anlagentechnik definiert. Die in Kasachstan gültigen Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz entsprechen denen der ehemaligen Russischen Föderation.

Innerhalb dieser Arbeit wird der Einfluss von unterschiedlichen Qualitäten des baulichen Wärmeschutzes auf den Jahres-Heizwärmebedarf untersucht. Hierzu werden ein Wohn- und ein Nichtwohngebäude mit dem thermischen Simulationswerkzeug [TRNSYS] abgebildet. Die Untersuchungen werden unter Nutzung der, für den Standort Ust-Kamenogorsk, gültigen Standard-Wetterbedingungen durchgeführt. Das Bedarfsprofil wird entsprechend berücksichtigt. Die Ergebnisse der dynamischen Simulation liefern unter gleichzeitiger Abbildung der Anlagentechnik den Jahres-Energiebedarf, sowie den Kälte- und Strombedarf.

In Variantenuntersuchungen und Parametervariationen werden unterschiedliche Kombinationen aus baulichem Wärmeschutz und Gebäudeenergieversorgung betrachtet und die resultierenden Bedarfswerte ermittelt. Neben dezentraler Energieversorgung werden zentrale Varianten der Wärme- und Stromversorgung betrachtet. Insbesondere Systeme zur saisonalen Wärmespeicherung und die Untersuchung von Anlagen zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung stellen aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht einen Ansatz zur Steigerung der Energieeffizienz dar. Der ökonomische Vergleich der Varianten erfolgt im Rahmen einer Vollkostenbetrachtung in Anlehnung an die [VDI 2067]. Der Brennstoffbedarf, die CO₂-Emissionen und der Primärenergiebedarf sind weitere Beurteilungskriterien.

ABSTRACT

In this work, a comparative analysis of the energy situation in Germany and Kazakhstan has been performed. Since, the energy resources are not distributed evenly in all regions, different energy sources are used for the energy demands of particular parts of Kazakhstan. The fulfillment of these energy demands through fossil fuels leads to high pollution; on the other hand, the stocks of gas and oil are limited. The development of energy-efficient heating systems as well as energetically and economically fulfillment of demands through renewable energy sources is the focus of the work.

Worldwide, buildings' heating supply demands a significant portion of energy consumption. It is standardized in many countries through laws and regulations. Under these regulations, the requirements for insulation and thermal efficiency of buildings and system-engineering are defined. Presently, Russian regulations on insulation are used in Kazakhstan.

Within this work, the influence of different qualities of the thermal insulations on the annual heating demands is examined. Therefore, a typical residential and a non-residential building are simulated using the program system [TRNSYS]. The investigations are performed with the standard weather conditions of the city, Ust-Kamenogorsk. The residents' influences are taken into account. The dynamic simulations deliver the annual heating as well as the cooling and electricity requirements.

Besides decentralized energy supply concepts also central heating and central electricity supply systems are investigated. In particular, systems for seasonal heat storage and combined heat-power and cooling systems are analyzed and depict a sensible approach from an economic and environmental point of view. The economic comparison of variants has been done in accordance with standard [VDI 2067]. The determination of the fuel demands, the resulting CO₂- emissions and primary energy demands are used complementary criteria.

VORWORT	II
KURZFASSUNG	IV
ABSTRACT	V
INHALTSVERZEICHNIS	VI
NOMENKLATUR	X
1 EINLEITUNG	- 1 -
2 WÄRMEVERSORGUNG VON GEBÄUDEN – BEDARF UND DECKUNG	- 3 -
2.1 Verfügbare Ressourcen weltweit	- 3 -
2.1.1 Fossile Energieträger	- 4 -
2.1.2 Problematik der Emissionen –Einfluss auf klimatische Bedingungen	- 5 -
2.1.3 Regenerative Energieträger	- 6 -
2.2 Primärenergieverbrauch und Energieträger in Deutschland	- 7 -
2.2.1 Primärenergieverbrauch	- 7 -
2.2.2 Fossile und regenerative Energieträger	- 11 -
2.2.3 Potenziale der regenerativen Energieträger	- 15 -
2.3 Primärenergieverbrauch und Energieträger in Kasachstan	- 16 -
2.3.1 Primärenergieverbrauch	- 16 -
2.3.2 Fossile und regenerative Energieträger	- 17 -
2.3.3 Potenziale der regenerativen Energieträger	- 19 -
2.4 Energiepreise	- 20 -
3 KLIMABEDINGUNGEN	- 22 -
3.1 Klimabedingungen für Deutschland	- 22 -
3.2 Klimabedingungen für Kasachstan	- 24 -
4 TECHNOLOGIEN ZUR ENERGIEVERSORGUNG VON GEBÄUDEN	- 27 -
4.1 Wärmeversorgungsanlagen	- 27 -
4.2 Heizsysteme für Gebäude	- 28 -
4.2.1 Heizkessel	- 28 -

4.2.2	Zentrales System - Fernwärme.....	- 29 -
4.2.3	Fernwärme im Vergleich: Deutschland - Kasachstan	- 32 -
4.2.4	Wärmeverteilung und -übergabe im Gebäude.....	- 33 -
4.3	Systeme auf Basis regenerativer Energieträger in Deutschland	- 34 -
4.4	Technologien zur Kälteversorgung	- 42 -
4.4.1	Konventionelle Systeme zur Kälteversorgung	- 42 -
4.4.2	Kühlsysteme auf Basis regenerativer Energieträger	- 43 -
4.5	Lüftung von Gebäuden	- 44 -
4.5.1	Freie Lüftung	- 45 -
4.5.2	RLT- Anlagen	- 45 -
4.6	Kraft-Wärme-Kopplung - BHKW	- 46 -
5	BAULICHER WÄRMESCHUTZ VON GEBÄUDEN IN DEUTSCHLAND UND KASACHSTAN	- 48 -
5.1	Standard des baulichen Wärmeschutzes in Deutschland	- 48 -
5.2	Standard des baulichen Wärmeschutzes in Kasachstan.....	- 50 -
5.2.1	Anforderungen an die Gebäudehülle	- 51 -
5.2.2	Klassifikation des Gebäudes nach Feuchtigkeitsgrad und Tauwasserfreiheit.....	- 51 -
5.2.3	Wärmedurchlasswiderstand von Gebäudebauteilen	- 52 -
5.2.4	Spezifischer Jahresheizwärmebedarf	- 54 -
5.3	Gebäudetypologien in Ust-Kamenogorsk, Kasachstan	- 55 -
5.4	Wärmeerzeugung und –Verteilung in den Gebäuden.....	- 58 -
6	SIMULATION DER REFERENZGEBÄUDE	- 61 -
6.1	Definition der Referenzgebäude in Ust-Kamenogorsk.....	- 61 -
6.1.1	Gebäude Typ 1 - typisches Mehrfamilienhaus.....	- 62 -
6.1.2	Gebäude Typ 2 - typisches Bürogebäude	- 64 -
6.2	Beschreibung des Simulationsprogramms TRNSYS	- 66 -
6.3	Modellbeschreibung in PREBID.....	- 69 -
6.4	Wärmeschutzstandard für Referenzgebäude	- 74 -

6.5	Simulationsergebnisse (TRNSYS)	- 75 -
6.5.1	Jahres-Heizwärmebedarf	- 76 -
6.5.2	Primärenergiebedarf nach [DIN V 4108]	- 81 -
6.5.3	Nutzungswärmebedarf zur Warmwasserbereitung	- 81 -
6.5.4	Vorgehensweise zur Ermittlung des Wärme- und Kühlbedarfs	- 82 -
7	VARIANTEN DER ENERGIEVERSORGUNG IN UST-KAMENOGORSK	- 88 -
7.1	Dezentrale Wärmeversorgung	- 89 -
7.1.1	Ausstattung der Heizzentrale	- 90 -
7.1.2	Thermostatventile	- 90 -
7.2	Zentrale Wärmeversorgung	- 90 -
7.2.1	Nahwärmenetz	- 91 -
7.2.2	Hausübergabestation	- 93 -
7.2.3	Brauchwasserspeicher	- 94 -
7.3	Solarunterstützte Warmwasserbereitung (Variante 2, 4 und 5)	- 94 -
7.4	Energieversorgungsvarianten	- 96 -
7.4.1	Heizenergie- und Heizleistungsbedarf	- 97 -
7.4.2	Wirtschaftliche Berechnung	- 99 -
7.4.3	Spezifischer Energiebedarf	- 102 -
7.4.4	Maximale Heizleistung und Wärmebedarf	- 103 -
7.4.5	Variante 1 – Fernwärme aus kohlegefeuerten Kombikraftwerk (Referenzvariante, EnEV-Standard, EnEV-30%)	- 103 -
7.4.6	Variante 2 – Dezentrale solarunterstützte Wärmeerzeugung mit Erdgas	- 107 -
7.4.7	Variante 3 - Zentrale Energieversorgung mit Erdgas- BHKW und Kurzzeit-Wärmespeicher	- 110 -
7.4.8	Variante 4 – Zentrale solarunterstützte Wärmeerzeugung mit fester Biomasse und Kurzzeit-Wärmespeicher	- 113 -
7.4.9	Variante 5 – Zentrale solarunterstützte Wärmeerzeugung mit Erdgas und Langzeit-Wärmespeicher	- 116 -
8	VERGLEICH UND BEWERTUNG DER ENERGIEVERSORGUNGSVARIANTEN	- 122 -
8.1	Energetische Betrachtung	- 122 -
8.2	Ökologische Betrachtung	- 124 -
8.3	Wirtschaftliche Betrachtung	- 125 -

8.4	Vergleichende Bewertung	- 129 -
9	ZUSAMMENFASSUNG	- 131 -
10	LITERATURVERZEICHNIS	- 136 -
11	ANHANG	- 143 -

NOMENKLATUR

Lateinische Buchstaben

Formel- zeichen	Einheit	Bezeichnung
A	m ²	Fläche (Hüllfläche; Querschnittsfläche)
A _f	m ²	Fläche des Rahmens
A _g	m ²	Fläche der Verglasung
A _N	m ²	Nutzfläche
B	kWh/m ² a	spezifischer Jahresbrennstoffbedarf
A/V _e	m ⁻¹	Verhältnis Wärmeübertragende Umfassungsfläche zu Bruttovolumen
C	Wh/K	Wärmespeicherfähigkeit
c	Wh/(kg·K)	spezifische Wärmekapazität
D _d	K·d/a	Jahresgradtage
d	1	Anzahl der Tage
f _{Sol}	%	solarer Deckungsanteil
G	Wh/m ² Monat	spezifischer monatliche Tagessumme der Globalstrahlung
h _{Sp}	m	Speicherhöhe
H	W/K	spezifische Wärmeverluste
i	1	Zählvariable
I _{bt}	W/m ²	direkte solare Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene
I _{dt}	W/m ²	diffuse solare Bestrahlungsstärke in der Kollektorebene
I _L	W/m ²	langwellige Einstrahlung
I _S	W/m ²	solare Einstrahlung
I _t	W/m ²	Globalstrahlung in der Kollektorebene
j	1	Zählvariable

k	1	Zählvariable
K _a	€/a	Kosten, jahresbezogen
m	kg	Masse
m	kg/h	Massenstrom
n	1/h	Luftwechselrate
P	W	Leistung
P _r	€	Preis
p	1/a	Zinssatz
q̇	W/m²	Wärmestromdichte
Q̇	W	Wärmeleistung
Q _h	kWh/(m²a)	spezifischer Jahresheizwärmebedarf
Q _i	kWh/a	Interne Wärmegewinne
Q _p	kWh/(m²a)	spezifischer Jahresprimärenergiebedarf
Q _s	kWh/a	Solare Wärmegewinne
Q _T	kWh/a	Transmissionswärmeverluste
Q _L	kWh/a	Lüftungswärmeverluste
Q _w	kWh/m²a	spezifischer Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung
R	(m²·K)/W	Wärmedurchlasswiderstand
R _i	(m²·K)/W	Innenwiderstand der Wand
R _a	(m²·K)/W	Außenwiderstand der Wand
s	m	Wandstärke (Rohr)
t _a	°C	Außenlufttemperatur
t _{ht}	°C	Mittlere Außenlufttemperatur
t _i	°C	Innenlufttemperatur
t _{int}	°C	Mittlere Innenlufttemperatur nach SNIP
t _s	°C	Taupunkttemperatur der Raumluft
T	K	absolute Temperatur

U	$W/(m^2 \cdot K)$	Wärmedurchgangskoeffizient
U_g	$W/(m^2 \cdot K)$	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung
U_f	$W/(m^2 \cdot K)$	Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens
U_w	$W/(m^2 \cdot K)$	Wärmedurchgangskoeffizient des betrachtenden Fensters
v	m/s	Geschwindigkeit
V	m^3	Volumen
\dot{V}	m^3/h	Volumenstrom
z_{ht}	1	Anzahl der Tage der Heizperiode nach SNIP
Z	h	Simulationszeit

Griechische Buchstaben

Formel- zeichen	Name	Einheit	Bezeichnung
α	Alpha	$W/(m^2 \cdot K)$	Wärmeübergangskoeffizient
ε	Epsilon	1	Wirkungsgrad; Aufwands- / Leistungszahl
ε_p	Epsilon	1	Anlagenaufwandzahl
η	Eta	1	Nutzungsgrad, Arbeitszahl
η_0	Eta	1	Konversionsfaktor (Wirkungsgrad des Kollektors ohne Wärmeverluste)
λ	Lambda	$W/(m \cdot K)$	Wärmeleitfähigkeit
φ	Phi	%	relative Luftfeuchtigkeit

Indizes, Abkürzungen

a	Jahr; jährlich; auf das Jahr bezogen
ab	abgegeben
aus	Austritt
Auslegung	Auslegungsbedingung
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe
BHKW	Blockheizkraftwerk
BWK	Brennwert-Heizkessel
C	berechneter Wert aus Simulation
d	Tag
d_i	Wärmeverteilung (distribution)
def	definiert
dp	Be- und Entladeeinrichtung, Speichermodell (doubleport)
e	außen
ein	Eintritt
eff	effektiv
el	elektrisch
End	Endenergie
EnEV	Energieeinsparverordnung
EWT	Erdreichwärmeübertrager
g	Wärmeerzeugung (generation)
ges	gesamt
G	Gewinne, Wärmegewinne
GOST	Russische Normsystem
GUS	Gemeinschaft Unabhängiger Staaten
h	Stunde
H	Heizung, Heizwärme

HE	Hilfsenergie
HK	Heizkörper
HP	Heizperiode
Hzg	Heizung
Hzfl	Heizfläche
i	innen
I	Intern
IEA	Internationale Energieagentur
Infil	Infiltration
konv	konvektiv
korrr	korrigiert
Koll	Kollektor
Kopplg	Kopplung
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
ln	logarithmisch
L	Luft (trocken)
Lftg	Lüftung
m	mittel
max	Maximum
mech	mechanisch
min	Minimum
M	gemessener Wert
MFH	Mehrfamilienhaus
n	normalisiert
N	Nutzfläche, Wohnfläche
Norm	Normbedingung
NTK	Niedertemperatur-Heizkessel

Nutz	Nutzwärme
oG	oberer Grenzwert
oV	ohne Verluste
P	Primärenergetisch bewertet
PE	Primärenergie
PEV	Primärenergieverbrauch
Q	Wärme
res	resultierend
RE	Regenerative Energie
s	Wärmespeicherung (storage)
stat	statisch
S	Sättigung
SNIP	Bauliche Normen und Richtlinien in Kasachstan
Sol	Solar, Solaranlage
Sp	Speicher
th	thermisch
tr	trocken
T	Transmission
TRY	Test-Reference-Year
UdSSR	Sowjetunion
Umg	Umgebung
V	Verlust
W	Wasser
WP	Wärmepumpe
WÜT	Wärmeübertrager
WDVS	Wärmedämmverbundsystem
WW	Warmwasser

1 Einleitung

Die Endlichkeit der Ressourcen und der Einfluss von Emissionen auf die Entwicklung des Klimas erfordern einen bewussten Umgang mit fossilen Energieträgern. Die möglichen technischen Potentiale aus regenerativer Energienutzung übersteigen den weltweiten Verbrauch um ein Vielfaches. Die Technologien zur Wärme-, Kälte- und Stromversorgung von Gebäuden über regenerative Energieträger sind entweder bereits in einigen Ländern am Markt etabliert bzw. befinden sich in der Entwicklung. Dies gilt auch für Materialien aus dem Bereich des baulichen Wärmeschutzes wie Dämmstoffe oder Fenster, über deren Einsatz sich der Energiebedarf der Gebäude allein über passive Maßnahmen deutlich reduzieren lässt. Erst das Zusammenwirken von baulichen und technischen Maßnahmen ermöglicht in Kombination mit der Einbindung regenerativer Energieträger eine Umsetzung nachhaltiger und ökologisch sinnvoller Energiekonzepte.

Die Verfügbarkeit der Technologien sowie das Know-how zur Integration in ein nachhaltiges Energieversorgungskonzept sind jedoch im Wesentlichen auf die Industrienationen beschränkt. Weltweit besteht damit ein erheblicher Bedarf an Know-how- und Technologietransfer zur Optimierung der Energieversorgung von Gebäuden und der Reduzierung der damit verbundenen Emissionen.

Weltweit werden derzeit noch überwiegend fossile Energieträger wie Erdgas, Erdöl, Kohle zur Energiebedarfsdeckung in Industrie und privaten Haushalten eingesetzt. Uran hat mit ca. 10 % an der Primärenergiebedarfsdeckung einen nur geringen Anteil, der sich zudem auf die zentrale Stromerzeugung beschränkt. Die heute noch vorherrschenden klassischen Versorgungsstrukturen verursachen einen hohen Verbrauch an fossilen Brennstoffen und führen zu großen Schadstoffemissionen. Dies gilt sowohl für westliche Industrienationen sowie insbesondere für technologisch weniger stark entwickelte Nationen.

Kasachstan verfügt über sehr große fossile Energieressourcen. In dieser Region Zentralasiens befinden sich etwa 0,5 % der weltweiten Vorräte [Duken], die noch jahrelang zur Deckung des Eigenbedarfs genutzt werden können, jedoch auch für den Export relevant sind. Der Standard der technischen Gebäudeausrüstung in Kasachstan ist typisch für die Staaten der ehemaligen Sowjetunion und entspricht nicht dem Niveau westlicher Industrienationen. Die Nutzung regenerativer Energieträger sowie die Anwendung von Technologien zur Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung erfolgt derzeit noch nicht. Auch der effiziente Umgang mit Energie durch dem Lastverlauf angepasste Versorgungssysteme oder moderne Regelungs- bzw. Steuerungstechnik werden bestenfalls bei Neubauten eingesetzt. Über die

Anwendung der in Russland gültigen Wärmeschutzanforderungen wird jedoch für Neubauten bereits ein, dem westlichen Standard entsprechender baulicher, Wärmeschutz umgesetzt.

Das Bewusstsein bzgl. der Auswirkungen von Emissionen auf Mensch und Umwelt sowie die Endlichkeit der Exportware Energierohstoffe führt jedoch auch in Kasachstan zu einem Umdenken in der Organisation der Energieversorgung von Gebäuden. Kasachstan ist nicht nur reich an fossilen Energierohstoffen, sondern besitzt auch ein bedeutendes Potential an regenerativen Energiequellen, wie zum Beispiel Wasser, Wind, Sonne und Biomasse.

Durch die Umstellung der Versorgungsstrukturen auf regenerative Energieträger sollen in Kasachstan wesentliche Einsparungen bzgl. des Energieverbrauchs und der Emissionen erreicht werden. Strom- Wärmeproduzenten emittieren in Kasachstan mehrere Millionen Tonnen Schadstoffe und etwa 70 Mio. Tonnen Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre. Der ökonomische Schaden durch die Verschmutzung der Umwelt, allein durch die Kohleverbrennung wird für Kasachstan auf etwa 3,4 Milliarden Euro pro Jahr geschätzt.

In der vorliegenden Arbeit werden Fragestellungen zur Verbesserung des Wärmedämmstandards und zur Verfügbarkeit von regenerativen Primärenergieträgern und deren wirtschaftlich sinnvoller Nutzung zur Wärmebedarfsdeckung in ganzheitlichen Energiekonzepten für Gebäude untersucht.

Die in Deutschland gültigen Energiestandards und eingesetzten Technologien werden auf Referenzgebäude in Kasachstan am Standort Ust-Kamenogorsk (kasachisch: Öskemen) übertragen. Für die 288.000 Einwohner zählende Stadt im Osten Kasachstans werden optimierte Energieversorgungskonzepte unter Einsatz regenerativer Energieträgern analysiert und bewertet. Die Betrachtung erfolgt für ein geplantes Wohn- und Gewerbegebiet.

Bisher wird die Energie für die Versorgung von Gebäuden in den Städten Kasachstans durch fossilen Energieträger bereitgestellt. Um den Übergang von dieser Energieversorgung zur Bereitstellung von Wärme, Kälte und Strom durch regenerative Energieträger zu bewerkstelligen, ist es nötig den Wärmebedarf der Gebäude durch eine bessere Dämmung der Gebäudehülle und durch Wärmerückgewinnung bei Lüftungsanlage stark zu vermindern.

Energieeffizienz und die optimierte Deckung des verbleibenden Bedarfs über regenerative Energieträger sind die Schlüssel für die Entwicklung zukunftsfähiger Energiekonzepte für Gebäude und Siedlungen. Für diese Entwicklung ist der Einsatz moderner Planungs- und Simulationswerkzeuge notwendig.

Der Weg zu nachhaltigen Versorgungssystemen in Kasachstan wird im Rahmen dieser Arbeit aufgezeigt.

2 Wärmeversorgung von Gebäuden – Bedarf und Deckung

2.1 Verfügbare Ressourcen weltweit

Aufgrund der global ungleichmäßigen Verteilung von Primärenergie und -ressourcen basiert die Anlagentechnik für die Energieversorgung auf regional unterschiedlichen, vor allem auf fossilen Energieträgern. Auch wenn Länder angesichts ihrer geografischen Lage den größten Teil ihres Energiebedarfs durch z.B. Solarstrahlung decken könnten, sieht der aktuelle weltweite Einsatz von Primärenergieträgern folgendermaßen aus (siehe Bild 1):

- 82,8 % Kohle, Erdöl, Erdgas
- 11,5 % Wasser
- 11,2 % Kernenergie
- 4,6 % sonstige Energieträger

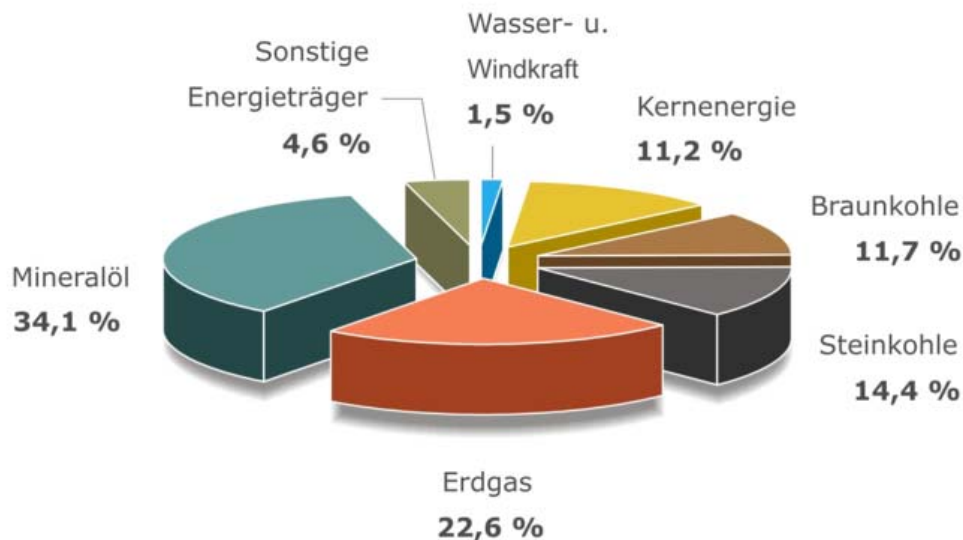


Bild 1 Energieversorgung der Welt 2003 [BMWuTech].

2.1.1 Fossile Energieträger

Fossile Energieträger wie Erdöl, Kohle und Erdgas aber auch Uran sind Primärenergieträger, deren Verbrauch und Nachhaltigkeit in ungleichem Verhältnis stehen: Jahrtausende der Entstehung stehen wenigen Jahrzehnten des Verbrauchs gegenüber. Wird davon ausgegangen, dass das weltweite Wirtschaftswachstum (zunehmend auch in den so genannten Entwicklungsländern) an den Verbrauch von Energieträgern gekoppelt ist, wird vor allem die Förderung fossiler Rohstoffe zukünftig zunehmend schwieriger, technisch aufwändiger und ist mit immer höheren Kosten verbunden.

In der folgenden Ausführung wird zwischen den Definitionen „Reserve“ und „Ressource“ unterschieden [BMWuTech]:

- Reserven sind sicher nachgewiesene und wirtschaftlich gewinnbare Vorkommen,
- Ressourcen sind Vorkommen, die entweder noch nicht wirtschaftlich förderbar oder noch nicht sicher nachgewiesen sind, aber aufgrund geologischer Indikatoren erwartet werden.

Die Verfügbarkeit der nachfolgend aufgeführten Rohstoffe wird in Form einer statistischen Reichweite in Jahren von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) und der Internationalen Energieagentur (IEA) ermittelt. Den Ergebnissen liegt der aktuelle Jahresverbrauch zugrunde.

Kohle: Etwa ein Drittel der weltweit verfügbaren Kohle liegt in Nordamerika und Australien. Die statistische Reichweite der Kohlereserven bei derzeitigem Verbrauch wird auf 95 Jahre und der Ressourcen auf ca. 470 weitere Jahre geschätzt. Umgerechnet auf Energie betragen die zu erwartenden Reserven und Ressourcen insgesamt 125.800 EJ [BMWuTech].

Erdöl: Der gegenwärtig wichtigste und knappste Energieträger ist konventionelles Erdöl. Die Reserven werden auf 160 Milliarden Tonnen (6.700 EJ) und die Ressourcen auf 82 Milliarden Tonnen (3.400 EJ) geschätzt. Nach vorliegenden Berechnungen stehen die vorhandenen Reserven für etwa 42 Jahre und die Ressourcen an konventionellem Erdöl für 21 weitere Jahre zur Verfügung.

Die Reichweite für nichtkonventionelles Erdöl wie z.B. Schweröl oder Ölschiefer, wird derzeit für die Reserven mit etwa 17 Jahren und für die Ressourcen mit 65 weiteren Jahren angegeben. 66 Milliarden Tonnen an nichtkonventionellen Erdölreserven stellen eine Energie von 2.760 EJ und 250 Milliarden Tonnen Ressourcen eine Energie von 10.460 EJ dar [BMWuTech].

Die Ressourcen an konventionellem Erdöl teilen sich global folgendermaßen auf:

76 % entfallen auf die Erdöl exportierenden Länder, die OPEC- Länder¹. Die OECD-Länder² sind nur mit 6 % beteiligt. Die Europäischen Länder (ohne GUS) besitzen anteilig ein konventionelles Ölvorkommen von 2 %; auf den Nahen Osten entfallen etwa 25 %, ebenfalls 25 % auf die GUS-Länder und 12 % liegen auf dem afrikanischen Kontinent.

Bei nicht-konventionellem Erdöl entfällt der größte Teil der Ressourcen von etwa 56 % auf die OECD-Länder [BMWuTech].

Erdgas: Die global verfügbaren Reserven konventionellen Erdgases werden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) auf 176.000 Milliarden m³ (5.600 EJ) geschätzt und Ressourcen von 207.000 Milliarden m³ (6.560 EJ) erwartet.

Reserven nichtkonventionellen Erdgases (z.B. Aquifergas, Gashydrate) werden mit einer statistische Reichweite von 70 Jahren, Ressourcen mit weiteren 75 Jahren angegeben [BMWu-Tech]. Die Vorkommen des konventionellen Erdgases sind global folgendermaßen aufgeteilt: 41 % der konventionellen Erdgasreserven entfallen auf Länder des Nahen Ostens, 32 % auf Länder der GUS, während in den gegenwärtigen Verbrauchsschwerpunkten Nordamerika und Europa insgesamt nur knapp 8 % der Reserven liegen [BMWuTech].

2.1.2 Problematik der Emissionen –Einfluss auf klimatische Bedingungen

Die Nutzung fossiler Energieträger ist nicht nur wegen ihres zeitlich und mengenmäßig begrenzten Vorkommens, sondern auch wegen der bei der Nutzung entstehenden CO₂- Emissionen, NO₂- , SO₂- und Staubemissionen problematisch für die Umwelt.

Gase wie CH₄, NO₂, und FCKW und das bei der Verbrennung frei werdende CO₂ werden als "Treibhausgase" bezeichnet, beeinflussen die Strahlungsdurchlässigkeit der Atmosphäre für die langwellige Wärmestrahlung und führen zum „Treibhauseffekt“.

Bild 2 verdeutlicht einen exponentiellen Anstieg der CO₂-Konzentration in den vergangenen 140 Jahren. Gleichzeitig stieg die mittlere globale Temperatur um ca. 1 Kelvin. Allerdings hat sich die mittlere globale Temperatur schon immer aufgrund anderer Einflüsse geändert.

Schon geringe Temperaturerhöhungen bewirken das Abschmelzen von Gletschern und des Eises der Polkappen und damit das Ansteigen der Meeresspiegel. Sturm- und Flutkatastro-

¹ Die Organisation Erdöl exportierender Länder (engl. Organization of the Petroleum Exporting Countries) ist eine im Zeitraum vom 10. bis 14. September 1960 in Bagdad gegründete internationale Organisation.

² Die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD, engl.: Organisation for Economic Co-operation and Development. Fast alle der 30 Mitgliedstaaten sind Industrieländer. (Stand 01/2005)

phen werden als Beweise für diese klimatischen Veränderungen angesehen, was allerdings nicht unbedingt wissenschaftlich stichhaltig ist.

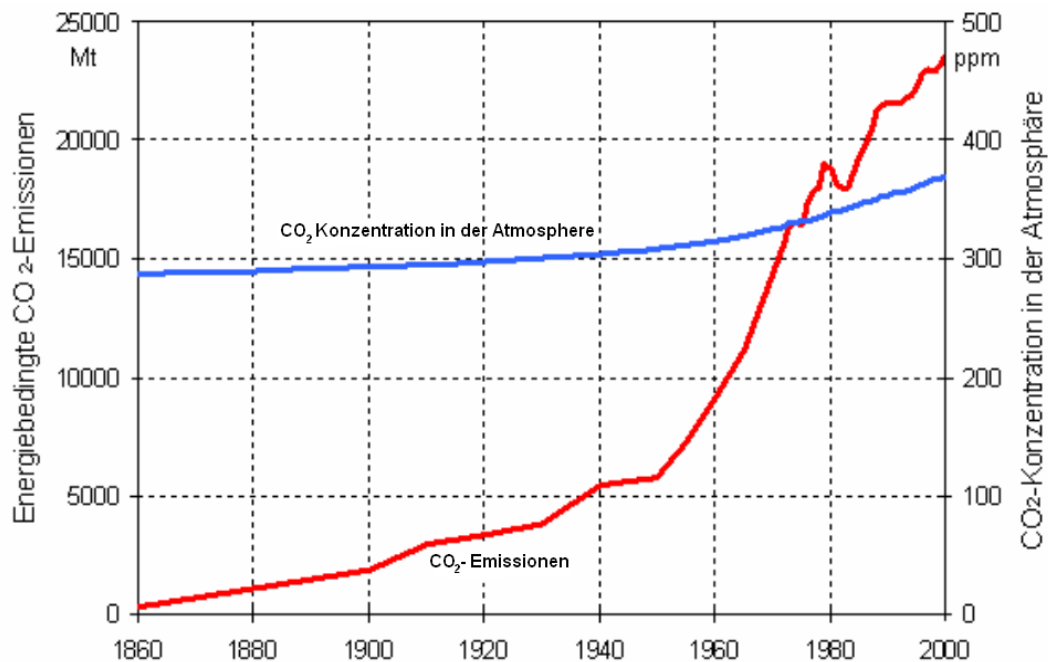


Bild 2 Entwicklung der Energiebedingten CO₂-Emissionen und der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre. Quelle: www.volker-quaschning.de

2.1.3 Regenerative Energieträger

Regenerative Energien, auch alternative Energien genannt, werden aus nachhaltigen Quellen gespeist. Sie sind - in menschlichen Zeiträumen gemessen - kontinuierlich verfügbar und stehen hiermit, im Gegensatz zu fossilen Energieträgern, immer zur Verfügung. Allerdings schränken meteorologische Bedingungen, die meist geringe Leistungsdichte und die Kosten für die Umstellung der Anlagentechnik usw. das jährlich realisierbare Potenzial ein.

Der Einsatz regenerativer Energieträger bringt große Vorteile bezüglich der Einsparung von CO₂-Emissionen mit sich, die sonst bei der Verwendung fossiler Rohstoffe entstehen würden.

Der Einsatz regenerativer Energieträger hat in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen. 48 Staaten der Welt fördern die Entwicklung des Einsatzes regenerativer Energien in Wirtschaft, Technik und Wissenschaft durch spezielle Förderinstrumente. Bis zum Jahr 2010 soll der Anteil regenerativer Energien in den EU-Staaten am Stromverbrauch auf 21 % und an der Gesamtenergie auf 12 % erhöht werden [BMWuTech].

2.2 Primärenergieverbrauch und Energieträger in Deutschland

2.2.1 Primärenergieverbrauch

Bis zu den Ölkrisen in den 1970er Jahren hat der an das Wirtschaftswachstum gekoppelte Energiebedarf in Deutschland stetig zugenommen. Die Ölkrisen erforderten ein Umdenken im Umgang mit fossilen Energieressourcen, welches sich auf das Nutzungsverhalten auswirkte und außerdem dazu führte, dass ernsthaft über den Einsatz regenerativer Energien nachgedacht wurde. In den 1980er und 1990er Jahren stagnierte der Energieverbrauch trotz anhaltendem Wirtschaftswachstum, was in wirtschaftlichen (Erhöhung der Effektivität des Energieeinsatzes, d.h. Wirkungsgrad- bzw. Nutzungsgraderhöhung und Stilllegung von Wirtschaftsbereichen in Ostdeutschland), weiteren anlagentechnischen Umstellungen (Ausbau der Kernenergie, verstärkter Erdgasverbrauch) und in den Anfängen der Wind- und Sonnenenergienutzung begründet lag. Dass heute der Primärenergieverbrauch (PEV) in der Bundesrepublik Deutschland stabil und somit der Energieverbrauch vom Wirtschaftswachstum weitgehend entkoppelt ist, zeigt Bild 3.

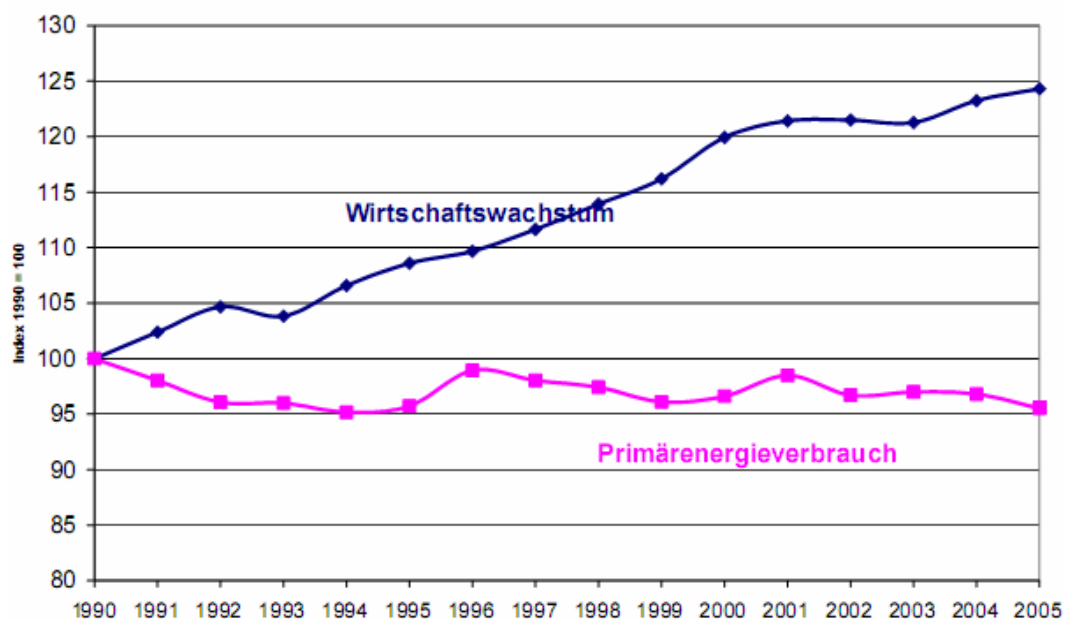


Bild 3 Entkopplung von Wirtschaftswachstum und PEV in Deutschland [BMWuTech]

Das Ergebnis einer detaillierten Analyse zur Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland für den Zeitraum 1991 – 2005 ist in den Bild 4 dargestellt.

Selbst eine erkennbare Verbrauchssenkung um etwa 4,5 % auf 14.238 PJ ist zu verzeichnen [RegEnergie].

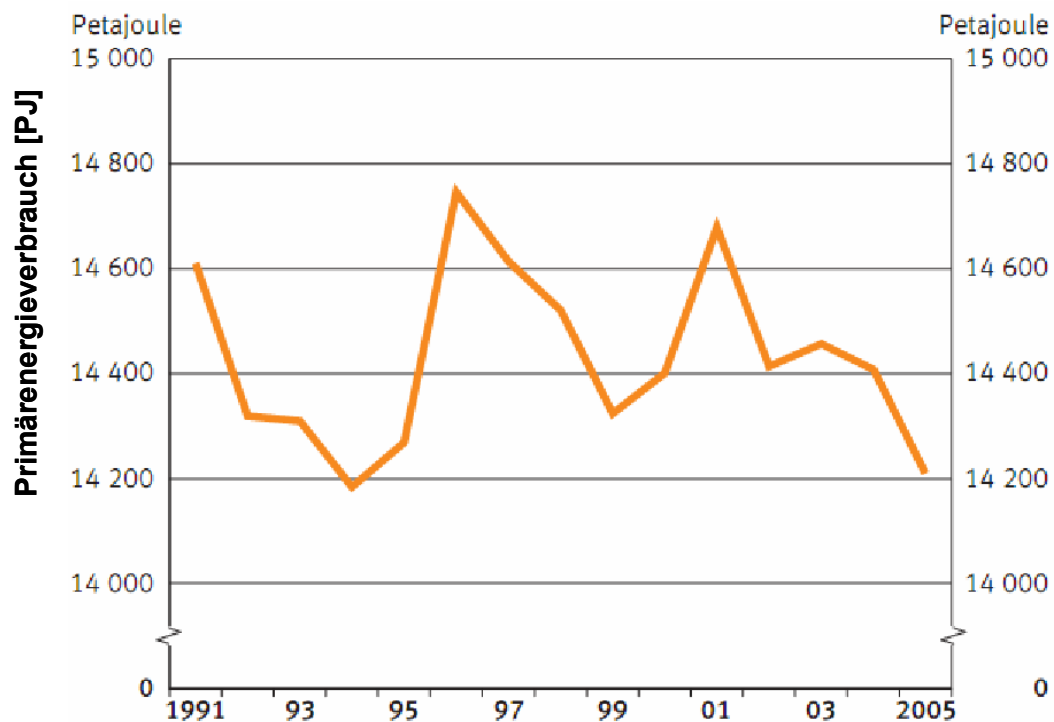


Bild 4 Entwicklungen des Primärenergieverbrauchs in Deutschland 1991 bis 2005 [BMWi]

für den Zeitraum 1997 – 2007 ist die Analyse zur Entwicklung des Primärenergieverbrauchs pro Kopf in Deutschland in den Bild 5 dargestellt.

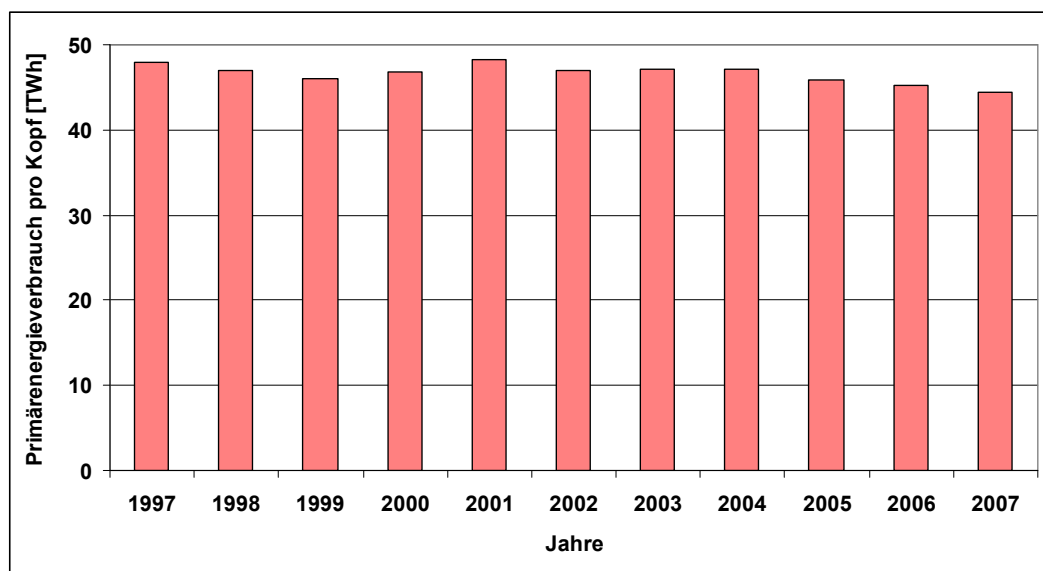


Bild 5 Entwicklungen des Primärenergieverbrauchs pro Kopf in Deutschland 1997 bis 2007 [BMWi]

Im betrachteten Zeitraum 1997 – 2007 in Deutschland reduzierte sich der Primärenergieverbrauch fossiler Primärenergieträger um 2 % aufgrund des Einsatzes modernisierter, energie-

effizienter Anlagentechnik und des zunehmenden Einsatzes regenerativer Energieträger und damit gehört Deutschland im internationalen Vergleich zur Spitzengruppe.

Bild 6 zeigt die Struktur des Primärenergieverbrauchs (PEV) in Deutschland, eingeteilt in den Verkehrs-, Haushalts-, Industrie- und Gewerbe. Der Verkehrssektor verzeichnet im Vergleich zum Energiebedarf des Industriesektors starke Zuwachsraten und nimmt 2007 etwa ein Drittel (47 %) des gesamten PEVs für sich ein.

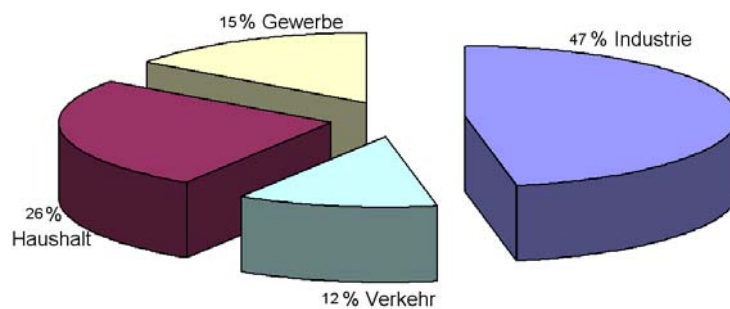
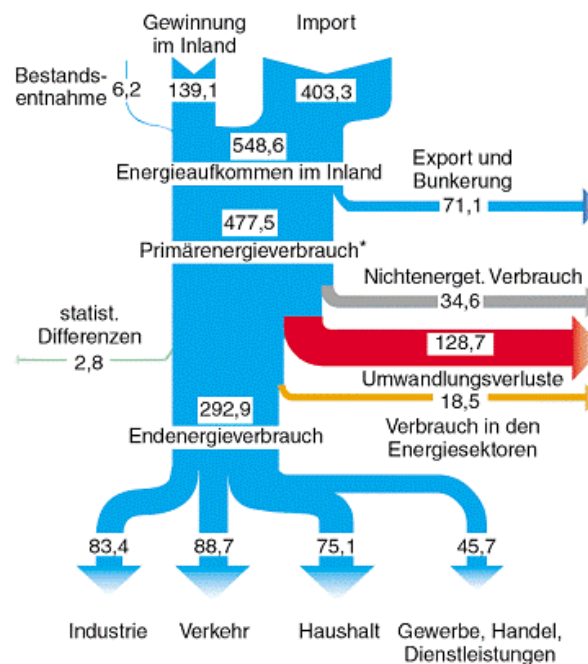


Bild 6 Primärenergieverbrauch in Deutschland 2007 nach Sektoren. Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 10/2007



*Der Anteil der erneuerbaren Energieträger liegt bei 7,2%.
Alle Zahlen vorläufig/geschätzt.
Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 08/2008

Bild 7 Energieflussbild 2008. Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen 08/2008

Das für Deutschland erstellte Energieflussbild (Bild 7) von 2008 verdeutlicht, dass die importierten oder im Inland gewonnenen Primärenergieaufkommen nicht insgesamt den oben ge-

nannten Verbrauchersektoren als Endenergie zur Verfügung stehen, sondern ferner für den Export und die Bevorratung, den Transport und die Herstellung von Energie verwendet werden bzw. für Energie- Umwandlungsverluste eingeplant werden müssen.

Den ökonomischen Umgang mit Energie beschreibt der spezifische Energieverbrauch, auch als Energieintensität bezeichnet. Die Energieintensität berechnet sich aus dem Einsatz an Primärenergie, bezogen auf das Bruttoinlandprodukt (BIP).

Aus der Berechnung des Umwelt-Bundes-Amtes (UBA) geht folgende Entwicklung der Energieintensität hervor: 1990 waren 8,7MJ an Primärenergie für die Erstellung eines Euros des BIP notwendig und im Jahr 2005 hingegen nur noch 6,6 MJ [BMWi].

Energieintensität und - Produktivität stehen im umgekehrt proportionalen Verhältnis. Deutschland verfolgt im Rahmen der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie das Ziel, bis 2020 die gesamtwirtschaftliche Energieproduktivität gegenüber 1990 zu verdoppeln. Daraus folgen zwingend die Abnahme der Energieintensität, die damit gekoppelte Verringerung des Einsatzes an Primärenergie, und die jährlich zunehmende Produktivitätsrate um 2,9 %, (siehe Bild 8).

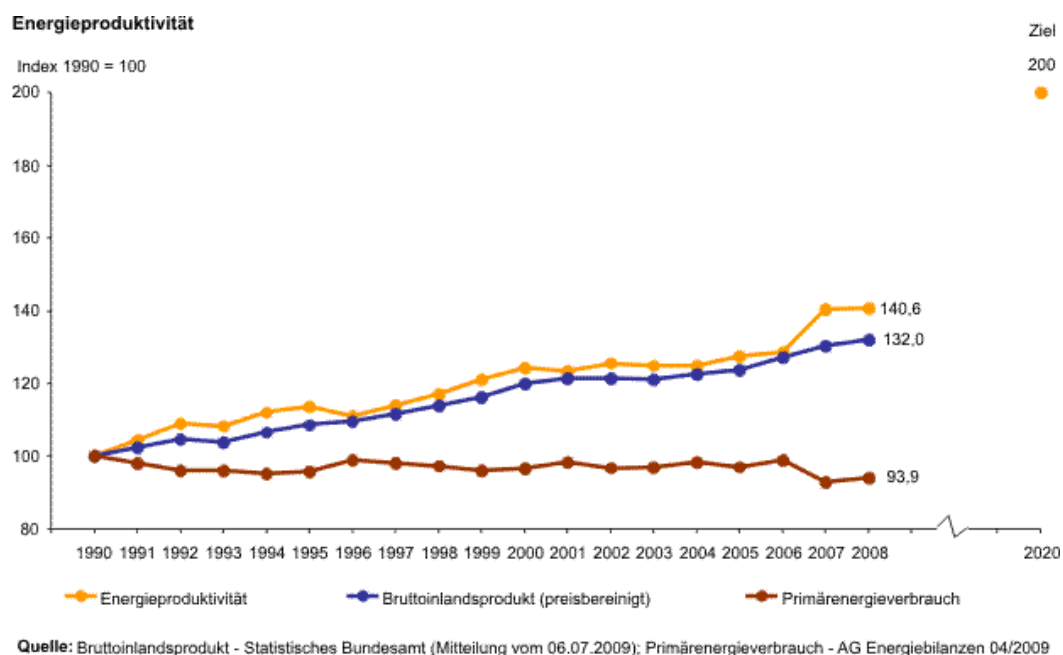


Bild 8 Entwicklung der Energieproduktivität. Quelle: Bruttoinlandsprodukt - Statistisches Bundesamt; Primärenergieverbrauch - AG Energiebilanzen 04/2009

Eine Reduzierung des Verbrauchs an Primärenergie kann auch durch gesetzlich verankerte Anforderungen und Änderungen der bestehenden Normen gefördert werden. Beispiele dafür sind der in Deutschland eingeführte Energieausweis für Gebäude (Verankerung in der

EnEV) und Anforderungen an den Wirkungsgrad der Anlagentechnik für Energie erzeugende Kraftwerke.

Die Anteile der verschiedenen Primärenergieträger am gesamten PEV wird in Bild 9 dargestellt [BMWuTech]. Der anteilige Verbrauch an Mineralöl, der zu Beginn der 90er Jahre bei 40 % lag, ist bis 2005 zugunsten des zunehmenden Einsatzes von Erdgas auf 37 % gefallen. Werden die Energieträger Mineralöl und Erdgas zusammengekommen, liegt deren Verbrauch seit Jahren relativ stabil bei ungefähr 60 %.

2005 verteilte sich der PEV Deutschlands folgendermaßen:

37% Mineralöl, 23 % Erdgas, 13 % Steinkohle, 12 % Kernenergie, 11 % Braunkohle, 4 % regenerative Energien. Als regenerative Energien werden in Deutschland Wasser, Wind, Sonne, Biomasse, Geothermie usw. dargestellt.

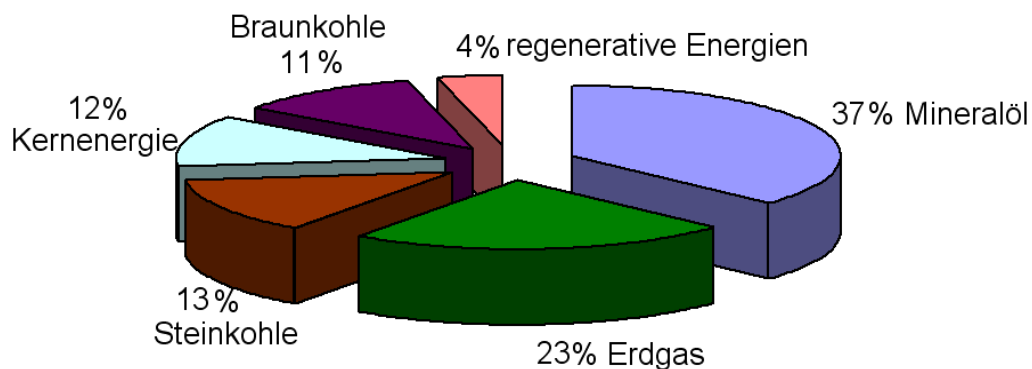


Bild 9 Primärenergieverbrauch in Deutschland 2007, eingeteilt nach Energieträgern. Quelle: AG Energiebilanzen 2007

2.2.2 Fossile und regenerative Energieträger

Fossile Energieträger

Die Bundesrepublik Deutschland verfügt hauptsächlich über Braun- und Steinkohlevorkommen. Die Braunkohlevorkommen werden von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe auf 76 Milliarden Tonnen sicher nachgewiesene und erwartete Vorkommen geschätzt und für Steinkohle auf 84,5 Milliarden Tonnen [BMW].

Bei einem kontinuierlichen Steinkohleverbrauch von 70 Millionen Tonnen jährlich könnte Steinkohle noch weitere 1.200 Jahre zur Verfügung stehen. Demgegenüber steht der weit über dem Weltmarktpreis liegende Förderpreis.

Die Situation für die Erdöl- und Erdgasvorkommen sieht in Deutschland ganz anders aus:

2007 wurden in Deutschland 3,4 Millionen Tonnen Erdöl gefördert. Das sind nur noch 42,5 % der Fördermenge des Jahres 1968. Bei gegebener Fördertechnik kann mit den bekannten Quellen die Förderung eigenen Erdöls wirtschaftlich nur noch wenige Jahre aufrechterhalten werden. Die Energiestudie der BGR von 2007 geht von 37 Millionen Tonnen und weiteren möglichen 20 Millionen Tonnen aus.

Das für die atomare Nutzung verwendbare Uran kommt in der Natur nicht in der benötigten Form vor und muss aus dem im Uranerz vorkommenden Uranoxid gewonnen werden. Uran ist ein von Deutschland importierter Energieträger und wird in Atomkraftwerken zur Stromerzeugung genutzt. 2005 betrug in Deutschland der Anteil der Kernenergie am PEV 12,5 %. Im gleichen Jahr war die Kernenergie etwa mit 26 % an der Stromerzeugung beteiligt. Die Regelungen des Atomgesetzes sehen vor, dass die Stromerzeugung aus Kernenergie bis 2020 auslaufen wird.

Für den Zeitraum 1990 - 2007 wird in Bild 10 die Entwicklung der Nettoimporte und des Primärenergieverbrauchs für die oben genannten Energieträger dargestellt.

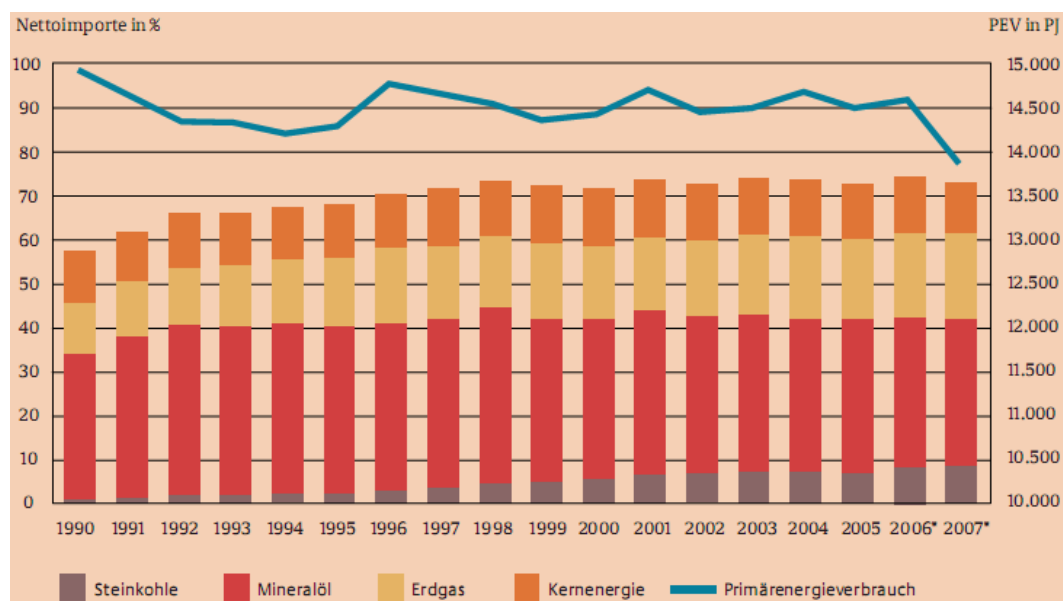


Bild 10 Entwicklung der Nettoimporte und des PEVs [BMWi].

Regenerative Energieträger

Heute ist die Notwendigkeit des Einsatzes regenerativer Energieträger fest in der deutschen Politik und Öffentlichkeit etabliert und seit 1990 definitiv eine positive Tendenz in der Umsetzung zu erkennen. Die im Jahre 2000, im „Erneuerbare- Energien- Gesetz“ (EEG) festgeschriebenen staatlichen Förderungen und das „Stromeinspeisegesetz“ von 2001 erreichten, dass bis 2005 die Bruttostromerzeugung auf der Grundlage regenerativer Energieträger auf 10,2 % anstieg [Liersch].

Die anteilige Stromerzeugung aus regenerativen Energieträgern am Bruttostromverbrauch für den Zeitraum 1991 und 2005 zeigt Bild 11.

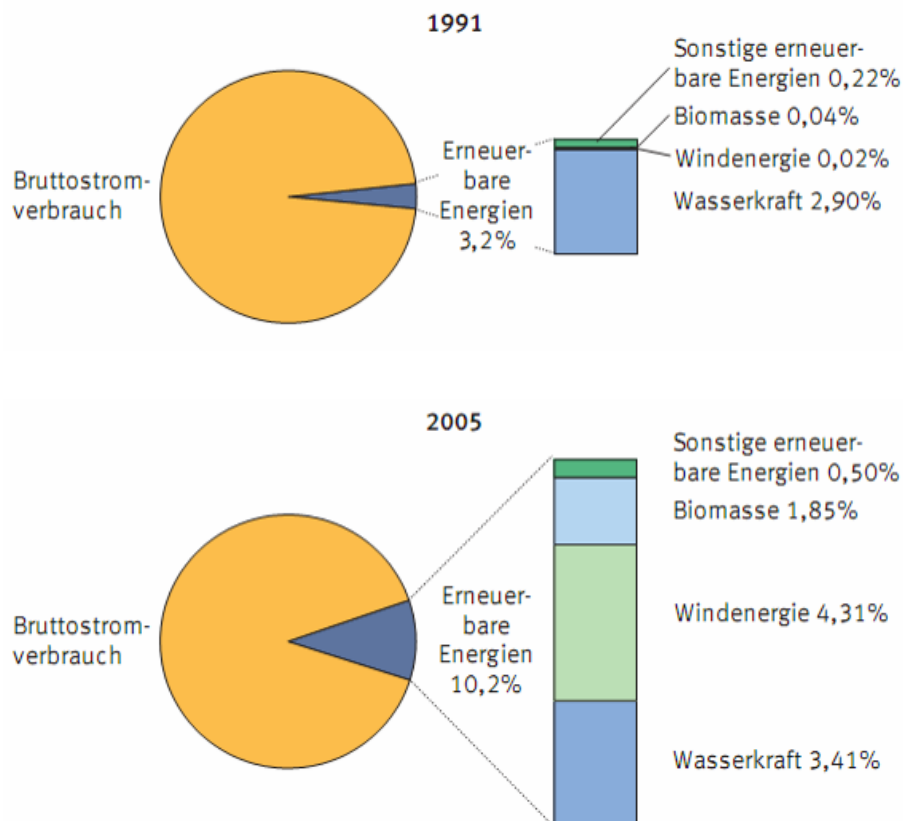


Bild 11 Anteile der Stromerzeugung aus regenerativen Energieträgern am Bruttostromverbrauch 1991 und 2005 [Liersch]

Windkraft: Deutschland nimmt mit 20.300 installierten Windenergieanlagen weltweit eine führende Rolle ein. Die Windenergie konnte im Jahr 2008 wieder einen deutlichen Zuwachs um 5,5 Prozent verzeichnen. Dem entsprach eine Strommenge von 40,3 Terawattstunden (TWh), die von insgesamt 20.301 Windkraftanlagen erzeugt wurden. Sie waren über das ganze Bundesgebiet verteilt und ergaben zusammen eine Kraftwerkskapazität von 23.903 Megawatt (MW). Die deutschen Windkraftanlagenhersteller und Zulieferer bestreiten etwa ein Drittel des Weltmarktes. Das bedeutet, dass die Stromerzeugung aus regenerativer Windenergie global durch diese Technologien unterstützt und ausgebaut wird. Mit etwa 40 % nimmt dieser Sektor den größten Anteil im Inland neben den konventionellen Stromerzeugern ein. Die noch relativ neue Technik unterliegt ständigen Veränderungen und neuen technologische Ausführungen: z.B. werden alte Anlagen, die im kW-Bereich arbeiten, durch moderne mit Leistungen bis ca. 5 MW ersetzt; die Entwicklung der Offshore-Technologie

zeigt sich zum Beispiel in der Entstehung des Offshore-Windparks „alpha ventus“ in der Nordsee, 45 km nördlich von der Insel Borkum.

Wasserkraft: Die älteste regenerative Energiequelle, die sich in den vergangenen Jahrzehnten auf der ganzen Welt etabliert hat, ist die Wasserkraft. In Deutschland begann die zunehmende Elektrizitätsversorgung aus Wasserkraft mit dem Ende des 19. Jahrhunderts. Das älteste 1898 erbaute und heute noch in Betrieb befindliche, auch mit seiner maximalen Generatorleistung von 26 Megawatt bedeutendste, Wasserkraftwerk befindet sich in Rheinfelden.

Heute werden 19 TWh pro Jahr produziert, d.h. ca. 4 % des jährlichen Bruttostrombedarfs gedeckt. Aufgrund geografischer Bedingungen und Flussgrößen kann der Wasserkraftanteil nur durch die Verbesserung der Anlageneffizienz bestehender großer Anlagen und eine Vielzahl kleiner Anlagen erhöht werden.

Solarenergie: Die größte regenerative Energiequelle ist die Sonne. Jährlich erreicht ein energetisches Potential von $1,08 \cdot 10^{18}$ kWh die Erdoberfläche. Die direkte Sonneneinstrahlung wird in Solarkollektoren meist ohne Konzentration zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung genutzt und bis heute nur in südlichen Ländern mit Konzentratoren wie Parabolspiegelrinnen und Fresnelspiegeln für solare Dampfkreisläufe bzw. mit Spiegelfeldern in Solarturmkraftwerken auch für solare Gas- und Dampfturbinenanlagen, bzw. mit kleinen Parabolspiegeln für Stirlingmotoren zur Stromerzeugung verwendet.

Photovoltaik-Anlagen können auch die diffuse Solarstrahlung nutzen und erzeugen direkt Gleichstrom, der durch Wechselrichter und Transformatoren ins elektrische Netz eingespeist werden kann. Solarthermische Anlagen werden durch „Solarthermie 2000plus“ gefördert und die Stromeinspeisung in das Stromnetz durch das „Erneuerbare-Energien-Gesetz“. Solarstrom hat zurzeit den geringsten Anteil an der alternativen Stromerzeugung in Deutschland und deckte 2007 etwa 0,6 % des Bruttostrombedarfs.

Außerdem sind Photovoltaik-Anlagen trotz wesentlicher Preissenkungen noch immer sehr teuer, eignen sich aber insbesondere für entlegene Kleinverbraucher.

Biomasse: Mit einem Anteil von 2,2 % an der gesamten Stromerzeugung aus regenerativen Energiequellen steht die Biomasse in Deutschland an dritter Stelle. Die bei der Stromerzeugung im Blockheizkraftwerk entstehende Wärme wird z.B. für Trocknungsprozesse und thermischen Anlagen genutzt. Weiterhin stellt Biomasse ein bedeutendes Potential zur Erzeugung von Biokraftstoffen dar.

Nach [Liersch] hat die Energiegewinnung aus Biomasse zukünftig das größte wirtschaftliche Entwicklungspotenzial. Aufgrund der zu Neige gehenden fossilen Brennstoffe, des wachsenden Energiebedarfs, führt der Weg ganz automatisch hin zu regenerativen Energien. Wäh-

rend die regenerativen Energien im heutigen Energiemix noch sehr bescheidene Ausmaße annimmt, zeigt Bild 12 die Prognosen der Entwicklung des regenerativen Energiequellenbeitrages zum PEV in Deutschland zwischen 2000 und 2050, dass vor allem der Anteil der Solarenergie stark am Wachsen ist.

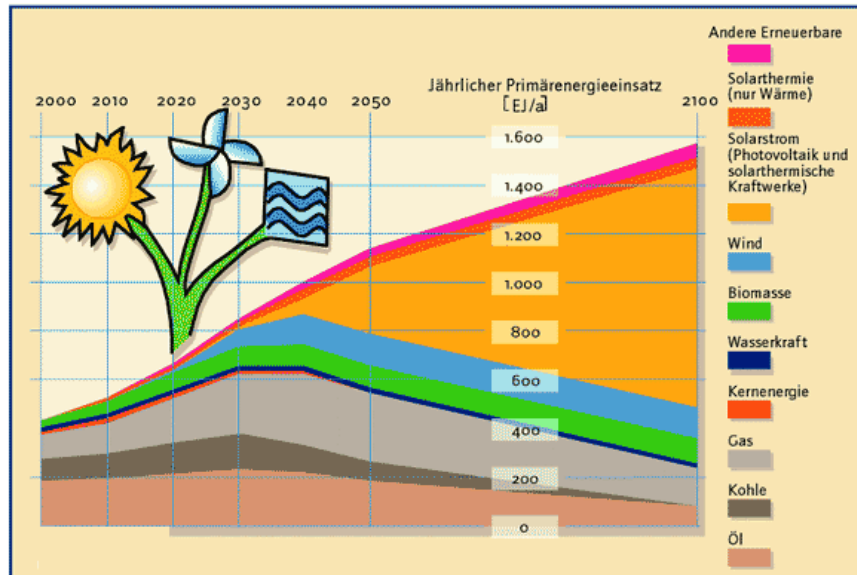


Bild 12 Prognose der Entwicklung des regenerativer Energiequellen zum PEV [WBGU]

2.2.3 Potenziale der regenerativen Energieträger

Die Nutzungspotenziale für regenerative Energieträger für die Wärmeerzeugung in Deutschland sind in Tabelle 1 aufgeführt.

	Nutzung [TWh/a]	Potential [TWh/a]	Kommentare
Biomasse	76,3	150	Einschließlich Nutzwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung
Geothermie	1,6	330	Nur Energiebereitstellung aus hydrothermalen Quellen
Solarthermie	3,0	300	Nur geeignete Dach- und Siedlungsflächen
Summe	80,9	780	
Anteil bezogen auf Endenergieverbrauch für Wärme (2004)	5,3%	51%	

Tabelle 1 Nutzungspotenziale für regenerative Energien [Umweltpol]

Bei einem verbesserten Dämmstandard und dadurch deutlich reduziertem spezifischen Wärmebedarf, wäre eine weitestgehende Bedarfsdeckung durch regenerative Energieträger möglich.

2.3 Primärenergieverbrauch und Energieträger in Kasachstan

2.3.1 Primärenergieverbrauch

Die Situation des Primärenergieverbrauchs in Kasachstan differiert sehr stark gegenüber der in der Bundesrepublik Deutschland. Kasachstan gehört wegen seiner Primärenergieträgerressourcen zu den wenigen Ländern, die nicht nur in der Lage sind, sich selbst mit Primärenergie jetzt und in der nahen Zukunft zu versorgen, sondern auch Primärenergieträger in großem wirtschaftlichen Stil zu exportieren. Zum Beispiel exportierte Kasachstan 2008 sieben Millionen Tonnen Rohöl nach Deutschland (einschließlich der anderen EU- Staaten, Quelle: AGEB 1/2009)

Der Primärenergieverbrauch in Kasachstan unter Berücksichtigung der Entwicklung der Bevölkerungszahl wird von 1997 bis 2007 in Bild 13 gezeigt. Seit dem Jahr 2000 ist in Kasachstan eine deutliche Steigerung zu beobachten. In Kasachstan wird die Stromerzeugung durch Solarenergie, Geothermie und Windenergie nicht berücksichtigt, da aus Vergleichsbarkeitsgründen mit Deutschland keine Bedeutung hat.

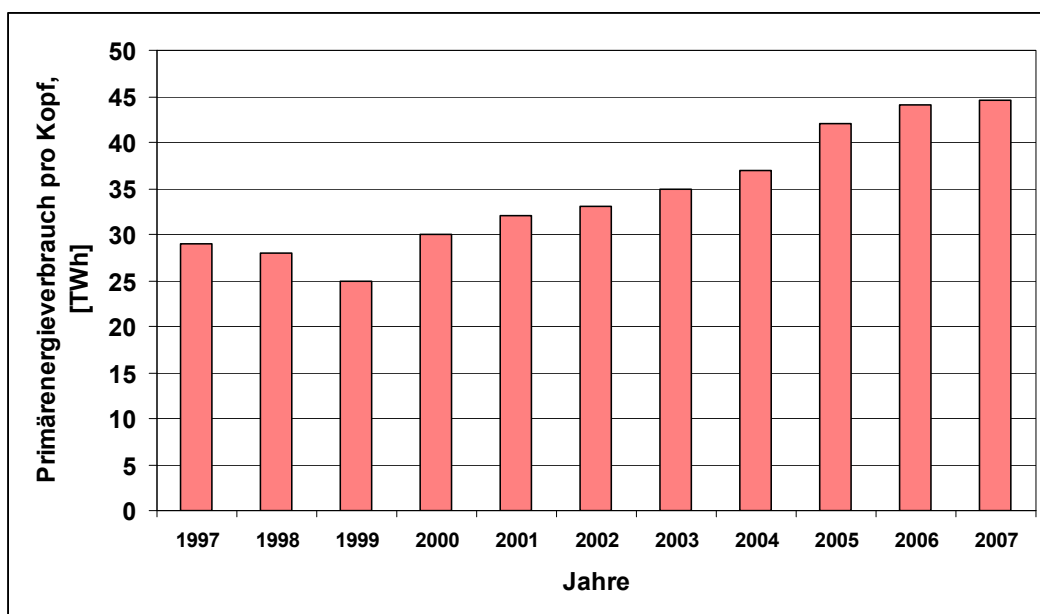


Bild 13 Primärenergieverbrauch pro Kopf in Kasachstan von 1997 bis 2007 [Duker]

Bild 14 legt den prozentual anteiligen Energieverbrauch der Sektoren Industrie und Haushalt, Dienstleistung und Verkehr und Agrarwirtschaft dar [RepKZ].

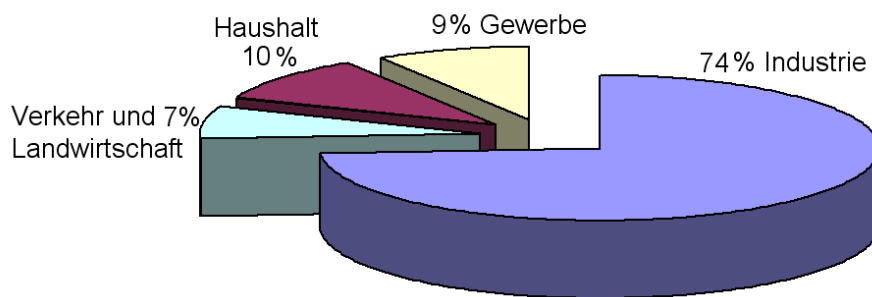


Bild 14 Primärenergieverbrauch in Kasachstan, eingeteilt in Bereiche [RepKZ]

Das folgende Bild 15 zeigt die Anteile der fossilen und regenerativen Energieträger am Primärenergieverbrauch in Kasachstan [RepKZ]. Der größte Primärenergieträger in Kasachstan ist Kohle, der 70% beträgt. Als regenerative Energien wird in Kasachstan nur durch Wasser abgedeckt, andere Erneuerbare Energieträger sind nur mit ca. 0,2 % vertreten.

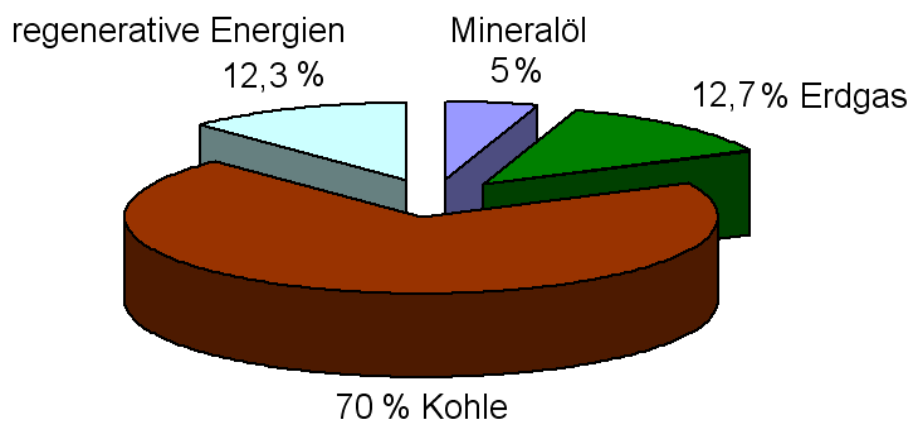


Bild 15 Primärenergieverbrauch in Kasachstan, Einteilung nach Energieträger [RepKZ]

2.3.2 Fossile und regenerative Energieträger

Fossile Energieträger

Wie schon einführend beschrieben ist Kasachstan reich an fossilen Energieträgern.

Erdöl: Zukünftig stehen 6,5 Milliarden Tonnen nachgewiesene und wirtschaftlich gewinnbare Erdölvorkommen zur Verfügung. Ferner kann im Bereich des Kaspischen Meeres mit weiteren 124,3 Milliarden Tonnen Erdöl gerechnet werden.

Erdgas: Die nachgewiesenen Erdgasvorkommen betragen 2,5 Billionen m³.

Uran: Die Uranerzvorkommen in Kasachstan gehören zu der größten weltweit. In Kanada, Australien und Kasachstan lagern schätzungsweise über die Hälfte der weltweiten Uranressourcen, insgesamt etwa 4,74 Millionen Tonnen. Australien besitzt etwa 30 % der weltweiten Ressourcen, Kasachstan 17% und Kanada 12% (Quelle: www.blueskyuranium.com).

Kohle: Die Kohlevorräte Kasachstans (Braunkohle und Steinkohle) werden auf 176,7 Milliarden Tonnen geschätzt, aber nur für 34,1 Milliarden Tonnen kann der Kohleabbau mit den heute vorhandenen Technologien in Erwägung gezogen werden.

Aufgrund des bestehenden technologischen Entwicklungsstandes und der zur Verfügung stehenden wirtschaftlichen Möglichkeiten wird der größte Teil der Strom- und Wärmeversorgung (85 %) durch Kohleheizkraftwerke gewährleistet, 12 % der Gesamtleistung aller Kraftwerke entfallen auf Wasserkraftwerke und etwa 3 % der Stromerzeugung wird durch Gaskraftwerke realisiert. Die zukünftige Erdöl- und Erdgasgewinnung soll durch neue Standorterschließungen erweitert werden und die vorhandene Fördertechnik gegen moderne und effiziente Anlagentechnik ausgetauscht werden, um eine hohe energetische Produktivität zu erreichen.

Regenerative Energieträger

An der gesamten Stromerzeugung Kasachstans sind regenerative Energiequellen mit 10,2 % beteiligt, wovon 10 % auf Wasserkraft und 0,2 % auf Solar- und Windenergie entfallen.

Aufgrund der noch sehr stark im Aufbau begriffenen Wirtschaft und der großen fossilen Primärenergievorkommen, einschließlich der Uranerzvorkommen, wird der Entwicklung von nichttraditionellen Energieträgern momentan noch sehr wenig Aufmerksamkeit geschenkt.

Zurzeit erfolgt die Wärmeproduktion aus fester Biomasse (z.B. Holzhackschnitzel) mit erneuerungsbedürftiger, ineffizienter Anlagentechnik und genügt nicht den weltweit geforderten Umweltansprüchen.

Eben genannte Aspekte zur Wirtschaftlichkeit und Anlagentechnik gelten ebenfalls für die Herstellungstechnologien von Biogas aus Biomasse und dessen Nutzung. Eingesetzte Technologien arbeiten nicht mit einem in Deutschland üblichen akzeptablen Wirkungsgrad und die anfallende Prozesswärme wird unzureichend genutzt. Begründet durch das große Interesse wird die Entwicklung in diesem Bereich ebenfalls in Richtung Optimierung gehen [Duken].

2.3.3 Potenziale der regenerativen Energieträger

Holz: Holz als Energieträger in Form von Holzhackschnitzeln kann aufgrund der landschaftlichen Strukturen in großen Mengen dem nordöstlichen Bereich der Republik entnommen werden.

Feste Biomasse: Aufgrund ausgedehnter Agrarindustrie stellt feste Biomasse landesweit ein großes Potential zur Biogas- und/ oder Biodieselherstellung dar.

Tiefe Geothermie, beginnend mit einer Tiefe von 400 Metern, wird im Bereich der Wärmeversorgung mit zentralen Erdwärmenutzungsanlagen schon heute im Forschungsbereich eingesetzt. Die Nutzung dieser Technik bietet sich in geeigneten Regionen Kasachstans an.

Wasser: Das Wasserkraftpotenzial Kasachstans konzentriert sich auf die östlichen, südlichen und südöstlichen Landesteile (95% des gesamten Potenzials) und wird auf jährlich 170 TWh geschätzt. Aus ökologischer und ökonomischer Sicht sind davon 23,5 TWh realisierbar. Derzeit werden davon nur 30% (7,1 TWh) genutzt.

Besonders der Sektor der Kleinwasserkraft (<10 MW) ist für die Elektrifizierung des Landes von Bedeutung. Mehr als 450 Standorte in diesem Leistungsbereich mit fast 1,4 GW Gesamtkapazität und potenziellen 6,3 TWh Erzeugungsleistung sind bis heute identifiziert worden [DeGTZ].

Solarenergie: Bedingt durch das kontinentale Klima in Kasachstan und die langen Sommer mit bis zu 3.000 Sonnenscheinstunden und einer Einstrahlung von 1.300 -1.800 kWh/m² pro Jahr [Duken] steht ein großes Potential an Sonnenenergie zur Verfügung. Gebiete um Priaralje, Kzylordinskij und Schymkentenskij weisen die höchsten Strahlungswerte auf.

Untersuchungen des japanischen New Energy und Industrial Technologie Development Organization (NEDO) ergaben, dass die hoch reflektierende Bodenoberfläche der Wüsten – Halbwüstengegenden, aus denen Kasachstan zu großen Teilen besteht, die solare Einstrahlungsintensität für Photovoltaik-Applikationen zusätzlich erhöht und ein beachtliches Einsparpotential an fossilen Brennstoffen bedeuten würde.

Windenergie: Aufgrund seiner geografischen und meteorologischen Gegebenheiten gehört Kasachstan zu den Ländern, die sich zur Windenergie- Nutzung besonders eignen.

Meteorologische Daten der kasachischen Behörden und Daten unabhängiger Organisationen, wie z.B. des US National Renewable Energy Laboratory (NREL), weisen für zwei Regionen des Landes hervorragende Bedingungen für die großtechnische Verstromung von Windenergie und einem Windpotential von 1 GW aus:

1. die „Dschungelische Pforte“, im Bezirk Alakolskij gelegen mit einer prognostizierten Verfügbarkeit von 50%,
2. der lange flache Gebirgspass, der zwei große Ebenen an der Grenze zu China miteinander verbindet und für seine starken und beständigen Winde bekannt ist (durchschnittliche Windgeschwindigkeit 7-9 m/s) [DeGTZ].

2.4 Energiepreise

Aufgrund der Preisentwicklung der fossilen Energieträger Erdgas und Heizöl stellt der Einsatz regenerativer Energieträger trotz z.T. höherer Kosten der Systemtechnik eine ökologisch sowie wirtschaftlich interessante Alternative zu konventionellen Lösungen der Wärmeversorgung dar.

Aufgrund der Nachfrage und der Verfügbarkeit von Holzbrennstoffen sind die Preise seit 2005 in Deutschland in etwa stabil. Der Gaspreis ist von der Weltpolitik abhängiger Ölpreis gebunden. Den derzeitigen Stand und die Entwicklung der Brennstoffpreise verdeutlichen die nachfolgenden Bilder (Bild 16 und Bild 17).

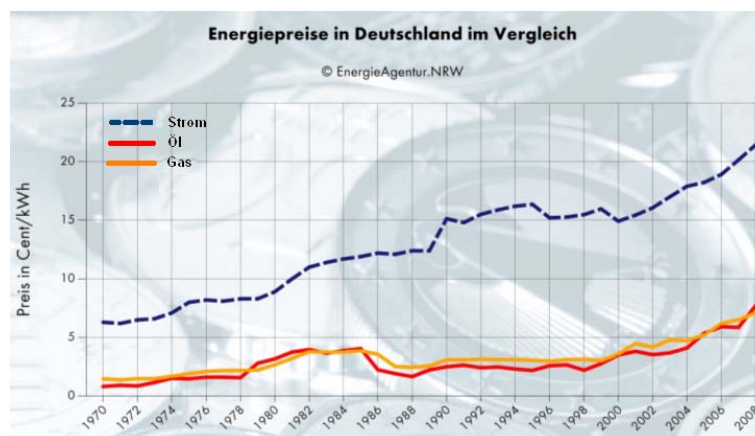


Bild 16 Energiepreisentwicklung (Strom, Gas und Öl) in Deutschland. Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, 2009

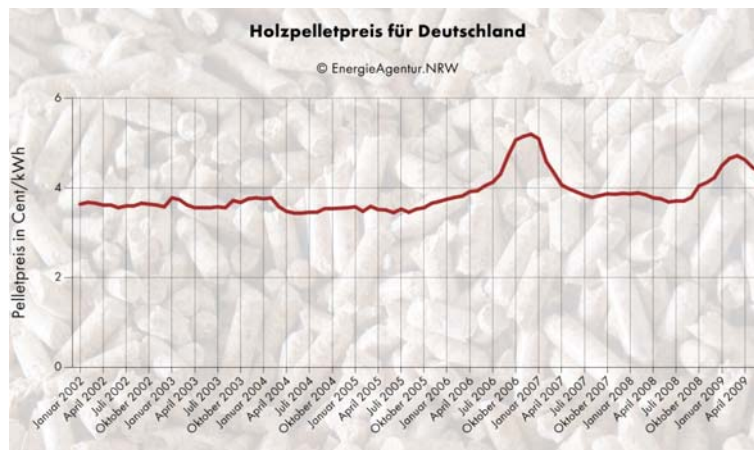


Bild 17 Energiepreisentwicklung (Holzpellet) in Deutschland.[C.A.R.M.E.N.]

Für die Bewertung und den Vergleich der einzelnen Wärmeversorgungsvarianten werden die aktuellen gemittelten Energiepreise für Deutschland eingeholt.

Alle Preise sind in Netto angegeben. Zuschläge wie Ökosteuer, Stromsteuer etc. sind enthalten. Es ist zu beachten, dass die Preise regional, durch Sonderverträge oder die Abnahmemenge stark schwanken können.

Nachfolgende Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die zurzeit gültigen Energiepreise in Deutschland und Kasachstan.

In der vorliegenden Arbeit werden die für Deutschland gültigen Energiepreise in Kombination mit den Kosten für eine in Deutschland verwendete Anlagentechnik benutzt (Absprache mit den Betreuern).

	Fernwärme [cent/kWh]	Gas [cent/kWh]	Holz [cent/kWh]	Strom [cent/kWh]
Kasachstan	0,6	1,3	0,17	2,7
Deutschland	7,5	7	4,3	15,1

Tabelle 2 Energiepreise für Deutschland und Kasachstan in 2009 [KEGOK] [C.A.R.M.E.N.]

3 Klimabedingungen

3.1 Klimabedingungen für Deutschland

Aufgrund der ermittelten mittleren Temperaturen, den Niederschlagsmengen und Vegetationsformen gehört Deutschland vollständig zur gemäßigten Klimazone Mitteleuropas. Deutschland befindet sich im Bereich der Westwindzone und im Übergangsbereich zwischen dem maritimen Klima Westeuropas und dem Kontinentalklima Osteuropas. Ein ungewöhnlich mildes Klima für diese Breitenlage ergibt sich durch den Einfluss des Golfstromes.

Die mittlere Jahressumme der Globalstrahlung, bezogen auf eine horizontale Ebene, liegt in Deutschland bei 1000 kWh pro m^2 und Jahr. Das entspricht im Durchschnitt einer spezifischen Leistung von etwa 115 W/m^2 .

Für Gebäudesimulationen zur Ermittlung der Heiz- und Kühllast ist es erforderlich, die klimatischen Einflüsse, wie z.B. die Lufttemperatur, die relative Luftfeuchte, die Bestrahlungsstärke der Sonne und die Windgeschwindigkeit, denen das zu betrachtende Gebäude ausgesetzt ist, zu kennen. Diese Klimadaten können den Datensätzen der Testreferenzjahre (TRY) entnommen werden. Ein Testreferenzjahr umfasst die Datensätze aller meteorologischen Daten eines Ortes bzw. einer Region über ein typisches Jahr als Stundenwerte mit 8760 Stunden pro Jahr. Die Daten eines TRY sind in einer Region anwendbar, in der die gleiche Witterung herrscht. Die Bundesrepublik Deutschland ist in 15 Regionen unterteilt. Im Folgenden werden grafisch die Mittelwerte der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchte und der monatlichen Tagessumme der Globalstrahlung (siehe Bild 18 und Bild 19) für die Monate Januar bis Dezember der Region 13 angegeben.

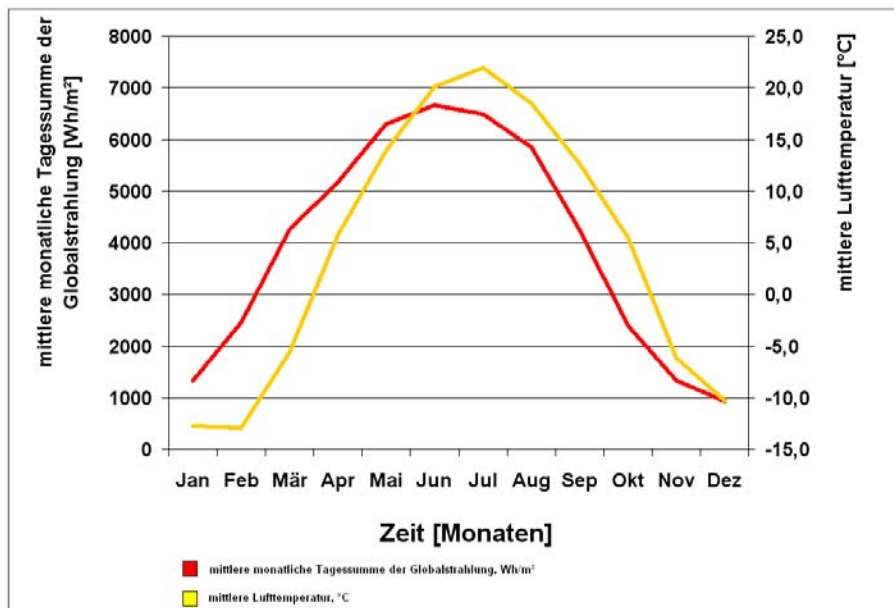


Bild 18 Mittlere monatliche Lufttemperatur und mittlere monatliche Tagessumme der Globalstrahlung für Deutschland, Region 13 [TRJ]

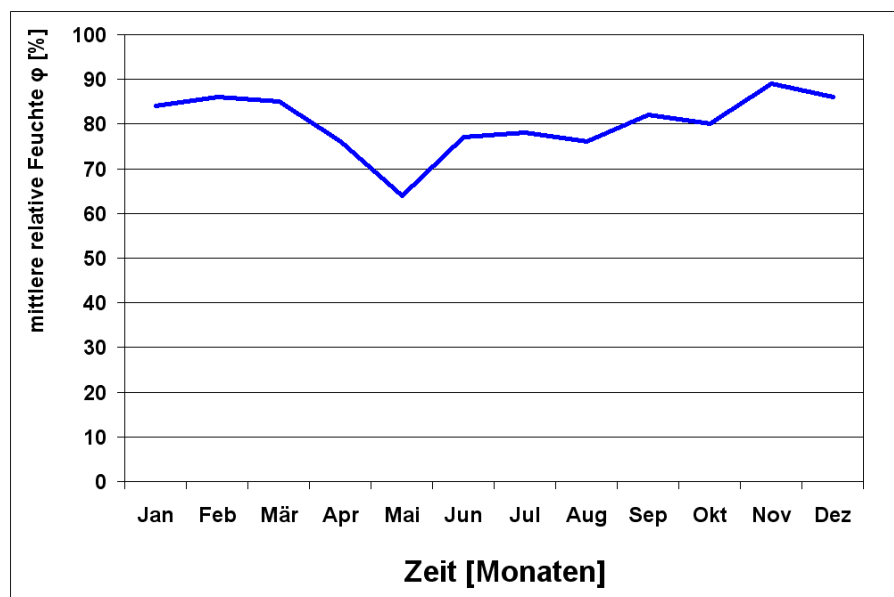


Bild 19 Mittlere relative Luftfeuchtigkeit für Deutschland, Region 13 [TRJ]

Die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten, die in Deutschland erreicht werden, sind in Bild 20 dargestellt.

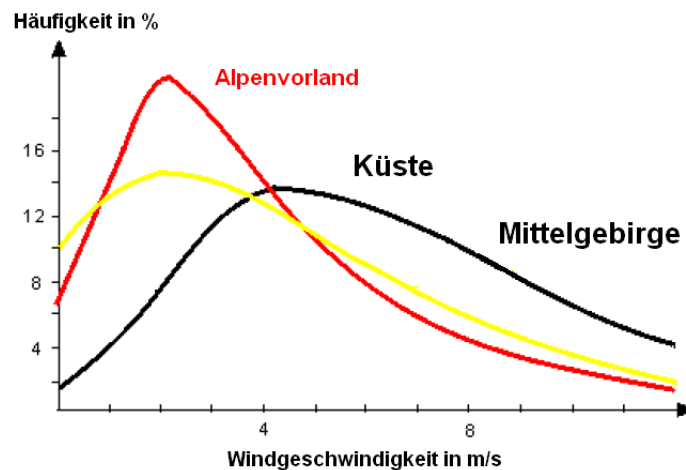


Bild 20 Windgeschwindigkeit in Deutschland (Quelle: www.leifi.physik.uni-muenchen.de)

Der Heizwärmebedarf und die Kühllast der Wohn- und Büroreferenzgebäude in Kasachstan werden in der Arbeit zum Vergleich auch mit den klimatischen Daten des Testreferenzjahres der Region 13 (Nordwestdeutsches Tiefland, Würzburg) durch Simulation mit TRNSYS berechnet.

3.2 Klimabedingungen für Kasachstan

Kasachstan ist mit einer Flächenausdehnung von 2.717.300 km², etwa 7,6-mal größer als Deutschland und weist ein ausgeprägt kontinentales Klima auf. Kontinentales Klima in Kasachstan bedeutet: nach kalten und schneereichen Wintern folgen relativ trockene und heiße Sommer. Große Temperaturschwankungen mit Maximalwerten von +32°C im Sommer und Temperaturen von -38°C in der kalten Jahreszeit sind zu verzeichnen. Die Temperaturen im Sommer und Winter im Norden Kasachstans weichen um einige Kelvin von denen im Süden ab und müssen bei Planungen aller Art berücksichtigt werden.

Kasachstan erstreckt sich über drei 3 Klimazonen:

- Feuchtklima der Gemäßigten Zone- kontinental (warme bis heiße Sommer und kalte Winter mit Schnee),
- Steppe der Gemäßigten Zone (ähnlich wie die vorher genannte Zone, nur weniger Niederschlag),
- Wüste der Gemäßigten Zone (über das ganze Jahr trocken- heiße Sommer und kalte Winter - Sandwüsten und Kieswüsten bedecken mit etwa 44 % den größten Teil des Landes).

Die in der Arbeit energetisch zu untersuchenden Referenzwohn- und Bürogebäude befinden sich in der im Osten Kasachstans gelegenen Stadt Ust-Kamenogorsk. Topografisch gesehen liegt Ust-Kamenogorsk im Vorgebirge des Altai und an einem der längsten Flüsse der Erde, dem Irtysh. Die in dieser Region vorherrschenden klimatischen Bedingungen werden im Folgenden grafisch aufgeführt.

Kasachstan kann mit einer jährlichen Globalstrahlung von 1300 bis 1800 kWh pro m² rechnen. Die daraus ermittelte spezifische Leistung beträgt 150 bis 200 W/m².

Relevant für die energetischen Betrachtungen sind die für die Monate Januar bis Dezember gemittelten Werte der Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchte und die mittlere monatliche Tagessumme der Globalstrahlung (siehe Bild 21 und Bild 22).

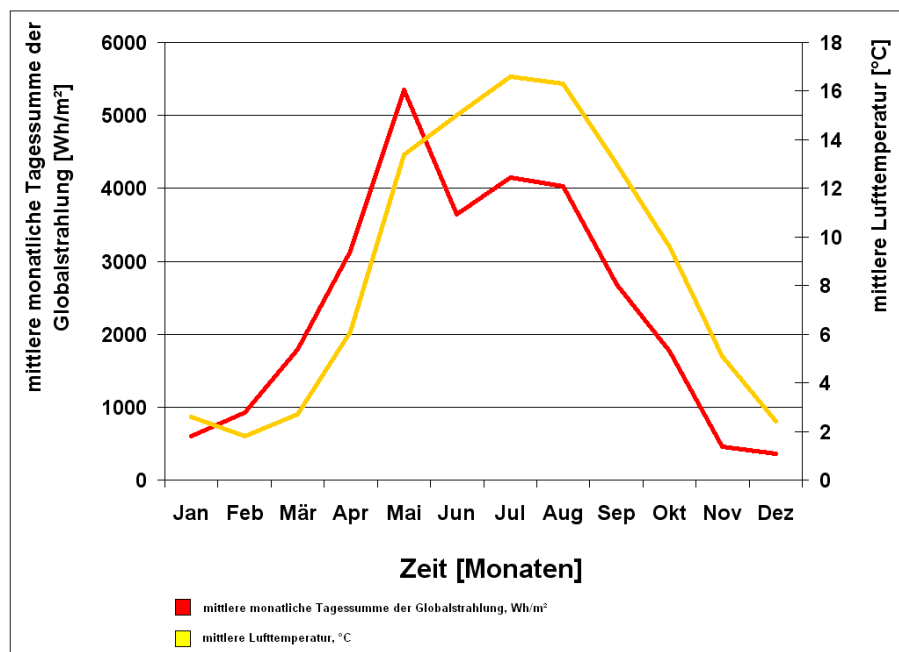


Bild 21 Mittlere monatliche Temperatur und mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung für Kasachstan, Ust-Kamenogorsk [SNIP]

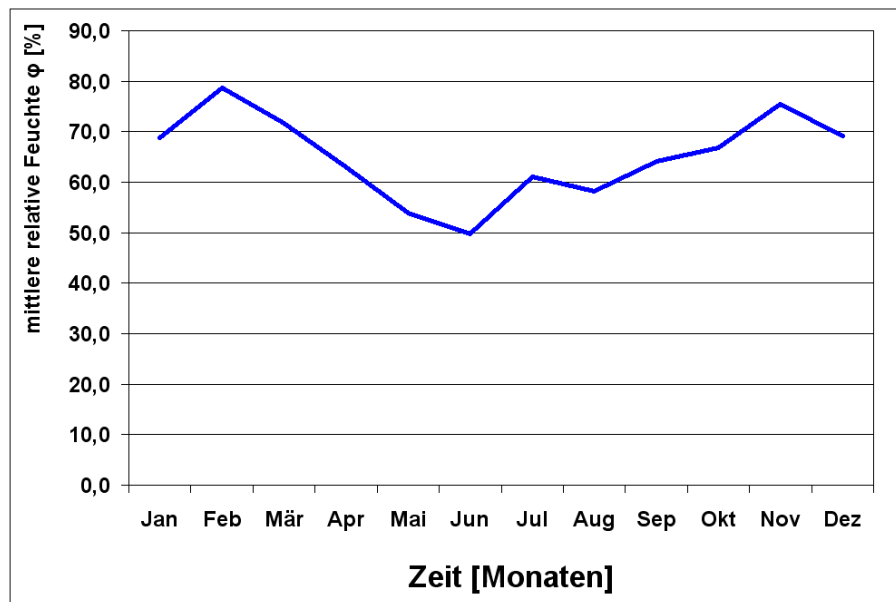


Bild 22 Mittlere relative Luftfeuchtigkeit für Kasachstan, Ust-Kamenogorsk [SNIP]

Die im Durchschnitt erreichten Windgeschwindigkeiten von Ust-Kamenogorsk betragen im Sommer 5 m/s und im Winter 9 m/s und stellen damit ein Potential für die Stromerzeugung aus Windkraft dar [DeGTZ].

Zur Ermittlung des Heiz- und Kühlbedarfs der gewählten Referenzgebäude werden Standard-Klimadaten verwendet.

4 Technologien zur Energieversorgung von Gebäuden

4.1 Wärmeversorgungsanlagen

Wärmeversorgungsanlagen werden wie folgt definiert: „Wärmeversorgungsanlagen ermöglichen in der kalten Jahreszeit die Beheizung von Aufenthaltsräumen und tragen dazu bei, Umgebungsbedingungen den menschlichen Bedürfnissen nach wärmephysiologischer Behaglichkeit anzugleichen“ [Pech].

Ein großer Teil der Primärenergie Deutschlands und anderer europäischer Länder wird gegenwärtig zur Deckung des Wärmebedarfs für die Raumheizung und Warmwasserbereitung genutzt. Aufgrund der im Kapitel 2 beschriebenen Energieverbrauchs- Situation geht in den EU-Ländern die Entwicklung der anlagentechnischen Ausführungen in Richtung Reduzierung des Primärenergieverbrauchs und Realisierung von Verbesserungsmaßnahmen des Gebäude- Dämmstandards.

Bild 23 stellt die nach Energieträgern unterteilte Beheizungsstruktur im Wohnungsbestand in Deutschland für das Jahr 2006 dar. Aus einer Statistik des Bundesverbandes der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW) geht hervor, dass fast die Hälfte von insgesamt 37,7 Millionen Wohneinheiten mit Erdgas beheizt wird.

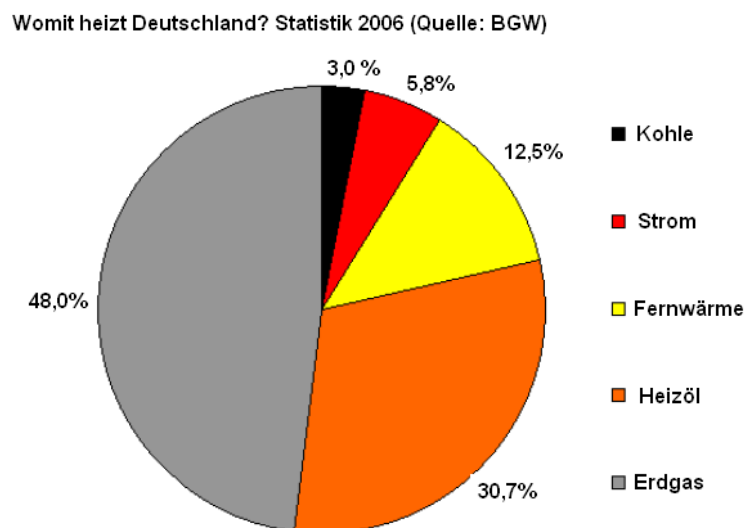


Bild 23 Beheizungsstrukturen im Wohnungsbestand, 2006. Quelle: BGW

Die Zahl der Wohnungen, die mit Fernwärme beheizt werden, liegt seit vielen Jahren konstant bei etwa 12,5 %, d.h. jede achte Wohnung wird mit Fernwärme versorgt. Der Anteil an Heizölverbrauchern ging aufgrund des Austausches der Wärmeerzeuger durch Erdgaskessel von 2004 bis 2006 um 0,6 % zurück. Gründe für die Umstellung waren nicht nur der Anstieg

des Ölpreises, sondern auch der größere Komfort erdgasgefeuerter Anlagen, die ihren Brennstoff über ein Erdgasnetz beziehen.

Für jede dritte neu geplante Wohnung wird ein Wärmeerzeuger auf Erdgasbasis, zunehmend mit Brennwertechnik und in Kombination mit Solarthermie, vorgesehen.

Die Kohle verfeuernden Heizungsanlagen verzeichnen ebenfalls einen Rückgang gegenüber den Vorjahren. Wohneinheiten, die mit elektrischen Heizungen ausgestattet sind, sind seit Jahren weitestgehend unverändert an der Beheizungsstruktur mit 5,8 % beteiligt.

In der nachfolgenden Zusammenstellung werden die in Deutschland üblichen Wärmeversorgungssysteme vorgestellt. Die Warmwasserheizung ist die Standardlösung zur Gebäudeheizung und wird in unterschiedlichen Bauformen eingesetzt.

4.2 Heizsysteme für Gebäude

Zentralheizungen (Sammelheizungen) sind dadurch gekennzeichnet, dass es für die zu beheizenden Räume nur eine, sich außerhalb der Wohnungen befindliche Feuerstätte gibt. Die dort erzeugte Wärme wird über einen Wärmeträger wie Wasser, Dampf oder Luft den Räumen zugeführt. Die Zentralheizungen werden nach ihrem Wärmeträger in Warmwasser-, Dampf- und Luftheizungen unterteilt.

Die Zentralheizungen haben viele Vorzüge gegenüber dezentralen Feuerstätten: eine geringere Umweltbelastung aufgrund einer hochwertigeren Ausführung bei geringeren Kosten im Vergleich zu mehreren Einzelfeuerungen und einer geringeren Anzahl von Start- und Abschalt Vorgängen, Wegfall der Brennstoff- und Aschetransporte in den Wohnungen, effektivere Brennstoffnutzung und höherer Bedienkomfort.

Dem gegenüber steht die Notwendigkeit der Wärmekostenerfassung je Wohneinheit, realisiert z.B. mit Wärmemengenzählern und Wärmeverluste, die bei der Wärmeverteilung über das Verteilnetz entstehen [TaschBuch].

4.2.1 Heizkessel

In der nachfolgenden Ausführung wird auf die in der Auslegung eingeplanten Niedertemperaturkessel (NT-Kessel) eingegangen.

Der Niedertemperaturkessel ist eine Weiterentwicklung des früher üblichen Konstanttemperaturkessels und kann im Dauerbetrieb mit einer geringen Eintrittstemperatur des Heizungs-rücklaufwassers von 35 bis 40 Grad Celsius betrieben werden. Die Materialeigenschaften des Kessels erlauben es, dass eventuell auftretendes Kondensat ohne Beeinträchtigung anfallen kann.

Während die Konstanttemperaturkessel das Heizungswasser und damit auch die Vorlauftemperatur das ganze Jahr auf 70° C bis 90° C erhitzen, wird bei der Niedertemperaturtechnik die Vorlauftemperatur je nach Außentemperatur abgesenkt. Meistens werden bei der Planung von Heizungssystemen Temperaturspreizungen von 70 / 55° C oder 55 / 45° C gewählt.

Vorteile des NT-Kessels sind geringe Stillstandsverluste durch die außentemperaturabhängige Steuerung der Kesselwassertemperatur (Vorlauftemperatur), geringere Wärmeverluste durch die geringe Temperaturdifferenz zwischen Kesselwassertemperatur und Umgebungstemperatur sowie geringe Abgasverluste. Der Normnutzungsgrad eines NT-Heizkessels erreicht etwa 90 %.

Teillast-Nutzungsgrade der Heizkessel: Brennwertkessel, Niedertemperaturkessel und Konstanttemperaturkessel zeigt Bild 24.

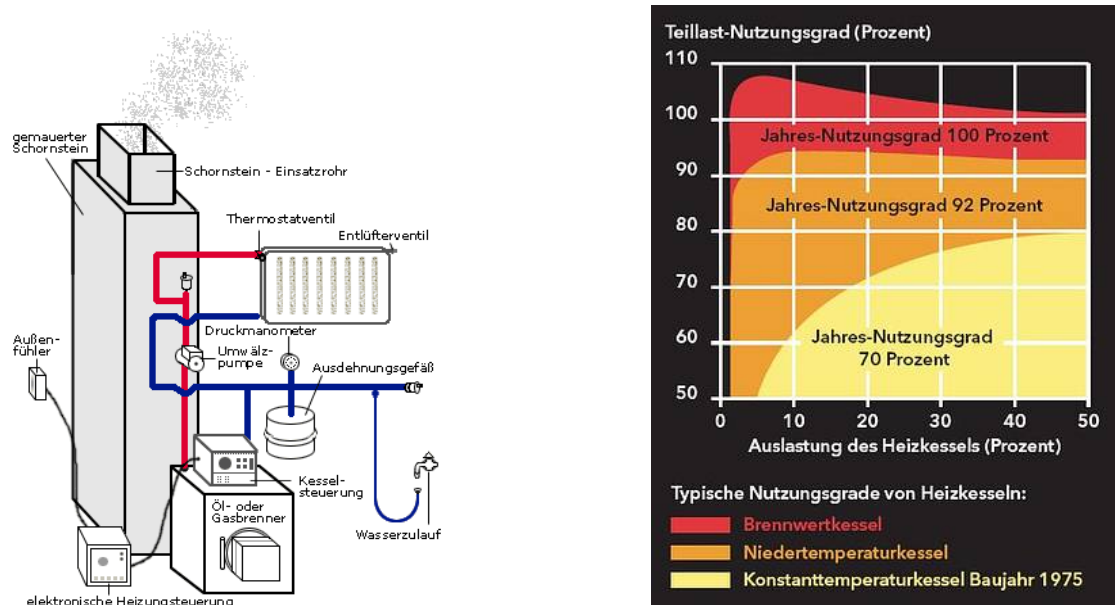


Bild 24 links: Niedertemperaturkessel
rechts: Teillast-Nutzungsgrad Heizkessel, Quelle: <http://effiziento.de>

4.2.2 Zentrales System - Fernwärme

Eine Fernheizung ist eine Heizungsanlage, die mit Fernwärme versorgt wird.

Fernwärme wird zentral in einem Heizwerk oder in einem Kraftwerk mit Kraft- Wärme- Kopplung (Heizkraftwerk) erzeugt.

In einem Heizkraftwerk findet eine so genannte Kuppelproduktion statt, d.h. Elektrizität und Wärme werden gleichzeitig erzeugt. Dieser Prozess wird als Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

bezeichnet. Der Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist und die entstehende Wärme in ein gut gedämmtes Rohrleitungsnetz in Form von Dampf oder Heißwasser, welches den Verbrauchern zur Beheizung von Gebäuden, zur Warmwasserbereitung oder zur Prozesswärmeversorgung zur Verfügung gestellt.

Deshalb liegen Heiz- bzw. Heizkraftwerke in der Nähe von städtischen Verdichtungsräumen oder Industrieanlagen mit hohem Wärmebedarf.

In den Sommermonaten beschränkt sich der Wärmebedarf auf die Brauchwassererwärmung. Die Nutzung der Wärme für wärmegetriebene Kältemaschinen (Absorptionswärmepumpen) in der Zeit hohen Kältebedarfs, kann die Jahresnutzungsdauer erheblich erweitern und dadurch die Wirtschaftlichkeit von KWK- Anlagen verbessern [TaschBuch].

Ein Heizwerk erzeugt keinen Strom, nur Wärme für die Warmwasserversorgung und Raumbeheizung. Als Übertragungsmedium dienen Wasser oder Dampf. Das Aufheizen des Wassers oder die Dampferzeugung erfolgen in Kesselanlagen (Dampfkessel, Heizkessel). Ein Heizwerk setzt sich im Allgemeinen aus folgenden Teilsystemen zusammen:

- Brennstoffversorgung und -speicherung
- Wärmeerzeugung (Kesselanlage)
- Wasseraufbereitung
- Druckhaltung (bei Heißwassersystemen)
- Wärmespeicher
- Netzpumpen (bei Heißwassersystemen)

Zur Wärmeerzeugung kommen nachstehende Brennstoffe zur Anwendung: Braun- und Steinkohle, Erdgas, Biogas, Öl, Biomasse, Holz und Holzprodukte sowie Müll in verschiedenen Zusammensetzungen und Aufbereitungsformen.

In einigen Ländern, z.B. in der Schweiz wird Fernwärme aus Kernkraftwerken ausgekoppelt. In Island, aber auch in Mitteleuropa, wird Fernwärme in Geothermie- Kraftwerken erzeugt. Im Fall der Wirtschaftlichkeit wird Abwärme von Industriebetrieben, zum Beispiel von Raffinerien oder Stahlproduzenten als Fernwärmequelle genutzt.

Historisch betrachtet begann Ende des 19. Jahrhunderts in den deutschen Städten Hamburg, Dresden und Berlin der verstärkte Ausbau von Fernwärmenetzen. Bis 1931 gab es 21 Fernwärmeunternehmen, die 3.000 TJ/a in das Wärmenetz einspeisten.

Zentrale Heizwerke verringerten die Anzahl der Kohlefeuerstätten in den Innenstädten und damit verminderten sich Brandgefahr und Umwelt belastende Emissionen.

Fernheizungen bestehen aus folgenden Hauptkomponenten:

- dem Wärmeerzeuger (z.B. Kesselhaus mit Kesseln, Feuerungen, Schornstein, Brennstofflager, Pumpen, Wasseraufbereitung),
- dem Fernwärme -Rohrnetz (Zuführung der Wärmeträger Heißwasser oder Dampf zu den Gebäuden),
- Übergabestationen (Übergabe der Wärme vom Fernwärme- Rohrnetz an die Hausanlagen) und
- dem Hauswärme -Rohrnetz (Wärmeverteilung in den Gebäuden auf die Wärmeverbraucher z.B. Heizkörper)
- Die Fernwärmeanlagen werden nach:
- dem Wärmeträger: Heißwasserheizungen mit Temperaturen bis 120 °C Heißwasserheizungen mit Temperatur über 120 °C und Dampfheizungen,
- der Anschlussart: direkt und indirekt und
- der Zahl der beheizten Wohnungen und nach der Art der Gebäude (Blockheizungen, Fabrikheizungen und Stadtheizungen (Fernheizungen)) unterschieden.

Fernheizungen weisen folgende Vorteile auf: [TaschBuch]:

- Wegfall des Brennstoff- und Aschetransports (Verkehrsentlastung)
- Raumersparnis (keine Heizkeller, kein Brennstoffraum)
- einfache Bedienung und erhöhter Brandschutz
- Verwendbarkeit billiger Brennstoffe (z.B. Müll)
- optimale wirtschaftliche Nutzung des Brennstoffs bei Kraft-Wärme-Kopplung und Abwärmennutzung
- große Betriebsicherheit durch wechselweise Benutzung mehrerer Kessel

Zu nennende Nachteile:

- Wärmeverluste über Fernwärmenetz
- Nur in dicht besiedelten Gegenden wirtschaftlich

4.2.3 Fernwärme im Vergleich: Deutschland - Kasachstan

In Deutschland wird jede achte Wohnung mit Fernwärme versorgt. Zentrale Versorgungssysteme stellen damit einen wesentlichen Teil der Wärmeversorgung von Gebäuden dar. Die Standardlösung sind jedoch dezentrale Systeme, in denen z.B. Heizkessel oder Wärmepumpen die Wärmebereitstellung übernehmen.

In Kasachstan gestaltet sich die Verteilung der Wärmeversorgungstechnologien prozentual anders als in Deutschland: Begründet durch die sowjetische Vergangenheit wird Kasachstan vor allem mit Fernwärme versorgt.

Mit der Entwicklung des Städtebaus mit Mehrfamilien- und Hochhäusern in der UdSSR wurde der Planungsschwerpunkt auf die zentrale Wärmeversorgung gelegt und auf den ökonomischen Vergleich dezentraler und zentraler Gebäudeheizungen weitestgehend verzichtet. Jedes Gebäude wurde als Wärmeverbrauchseinheit betrachtet, die mit zentral erzeugter Wärme versorgt werden sollte. Nur kleine Siedlungen und einige Stadtteile mit privaten Einfamilienhäusern bildeten eine Ausnahme. Im Gegensatz zu europäischen Ländern findet man in der GUS nur in kleiner Anteilen der städtischen Wohneinheiten (Privatpersonen), eine zentrale Gebäudeheizungen (z.B. Warmwasserheizungen).

Die Auflösung der UdSSR und die unmittelbar darauf folgende Wirtschaftskrise in den beteiligten Staaten führten zu Umgestaltungen im Verwaltungsbereich der Energieversorgungsunternehmen, zu beachtlichen Energiepreissteigerungen und letztendlich zur Reduzierung des Energieverbrauchs von 1990 bis 2001 um fast 50 %. Diese Entwicklung hatte ebenfalls zur Folge, dass weitestgehend bis heute die bestehende Anlagentechnik genutzt wird.

Die schon seit den 80er Jahren dringend erforderliche Modernisierung und Erneuerung der Fernwärmenetze wurde ebenfalls hinten angestellt. Inzwischen bewegen sich die Kosten für Reparaturarbeiten an den Fernwärmenetzen ungefähr in gleicher Höhe wie die Kosten für Neuanlagen, die Wärmeverluste sind immens hoch, die Wirkungsgrade der Kraftwerke niedrig und die Vorteile von Fernheizungen gegenüber alternativen Wärmeversorgungssystemen muss in Frage gestellt werden [Duken].

Merkmale der Fernwärmeversorgung in Kasachstan:

- Unzureichender Korrosionsschutz der Stahlrohre
- unzureichende Wärmeisolation
- keine Möglichkeit der Temperaturregelung auf der Nutzerseite
- nicht dem Stand der Technik entsprechende Systemregelung und Anlagentechnologien (verglichen mit Deutschland)

4.2.4 Wärmeverteilung und -übergabe im Gebäude

Die Warmwasserheizung (WWH) gehört zu den zentralen Gebäudeheizungen und ist in Deutschland das am meisten eingesetzte System.

In einer Warmwasserheizungsanlage durchläuft der Wärmeträger Wasser einen Kreislauf, der in einem, meist mit Erdgas oder Heizöl beheiztem Kessel beginnt. Hier wird das Wasser auf max. 120 °C bzw. 100 °C (Warmwasser) erwärmt und über ein Verteilnetz den Heizkörpern zugeführt. Bei der Wärmeabgabe in den Heizflächen und im Rohrnetz kühlt sich das Wasser ab und kehrt über die Rücklaufrohrleitung in den Kessel zurück.

Warmwasserheizungssysteme werden nach folgenden Kriterien unterschieden:

- nach der den Wassenumlauf bewirkenden Triebkraft: Schwerkraft- und Pumpen-Warmwasserheizung,
- nach der Wasserführung im Rohrsystem: Einrohr- und Zweirohrsystem,
- nach der Energieart: feste Brennstoffe z.B. Kohle und Holz, Heizöl, Erdgas oder Flüssiggas, elektrischer Strom, ect.
- nach Lage der Hauptverteilungen: obere und untere Verteilung und
- nach der Verbindung des Rohrsystems mit der Atmosphäre: offene und geschlossene Systeme [TaschBuch]

Die Warmwasserheizung wird heute fast ausschließlich als geschlossene Pumpenwasserheizung ausgeführt, Schwerkraftheizungen werden nur noch selten eingebaut.

Die Warmwasserheizung weist nachstehende Vorteile auf:

- vorrangig automatische Bedienung
- große Betriebssicherheit
- gute Regelbarkeit durch die Änderung der Vorlauftemperatur/ Volumenstrom
- geringe Korrosionsschäden und lange Lebensdauer
- milde und angenehme Erwärmung.

Zu benennende Nachteile sind: aufgrund der größeren Trägheit, längere Anheizzeiten Einfriergefahr.

Heizleistungsbedarf festgelegt. Zusätzlich ist ein Pufferspeicher vorzusehen der für eine Verlängerung der Betriebszeiten des Holzkessels bei reduzierter Wärmeabnahme in der Übergangszeit sorgt. Wird eine Solaranlage installiert, können die Pufferspeicher der solarthermischen Einheit von der Pelletanlage mit genutzt werden.

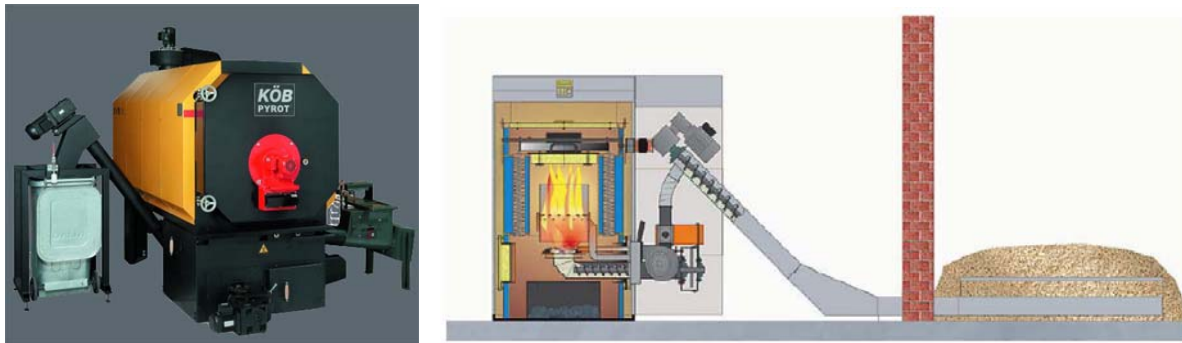


Bild 26 links: Heizkessel für Holzpellets oder Holzhackschnitzel [Quelle: KÖB],
rechts: Holzpellet- Heizkessel - Austragung mittels Rührwerk und Gelenkschnecke
[ÖkoFEN]

Aufgrund der stetigen Preissteigerung für fossile Brennstoffe werden zunehmend Biomasseheizungen eingesetzt, die mit Brennstoffen wie Stückholz (Holzpellet, Holzbrikett, Hackschnitzel) oder Halmgut (Getreidekörner, Getreide-/ Strohpellets, etc.) bestückt werden.

Holzpellets werden z.B. aus getrocknetem Restholz, ohne Zugabe chemischer Bindemittel und unter hohem Druck zu genormten Zylindern erstellt. Deren Nutzung in Pelletkesselanlagen stellt eine effektive Rohstoffverwertung dar.

Die o. g. regenerativen Energieträger sind regional verfügbar und ihre Beschaffung erfordert keine langen Transportwege.

Feste Biomasse als Energieträger ist CO₂- neutral: das bei der Verbrennung entstehende CO₂ entspricht der aufgenommenen CO₂- Menge während der Wachstumszeit. CO₂- Emissionen werden nur durch Fahrzeuge, die für den Anbau und Transport der Energieträger notwendig sind und indirekt durch elektrische Hilfsenergie der Anlagentechnik verursacht.

Bei der Verbrennung entstehende gasförmige und partikuläre Schadstoffe wie z.B. NO_x und Feinstaub werden durch eine optimale Regelung der Brennstoff- und Verbrennungsluftzufuhr, den Wassergehalt des Brennstoffs bzw. durch geeignete Filtertechnik vermieden.

In geschlossenen Feuerräumen mit einer angepassten Abgasanlage lassen sich entsprechende Verhältnisse realisieren.

Pelletlager: Holzpellets bestehen aus gepressten Sägerückständen. Sie werden im Tanklastzug angeliefert und über maximal 30 m lange Schläuche in einen möglichst quadratischen Lagerraum (siehe Bild 27) eingeblasen. Die Brennstoffbeschickung des Heizkessels erfolgt vollautomatisch über eine Förderschnecke. Durch den trockenen Brennstoff mit genormter Größe ist der Betrieb einer Pelletheizung nahezu störungsfrei.

Außerdem sind geringere Schadstoffemissionen als bei anderen Holzkesseln zu erwarten.

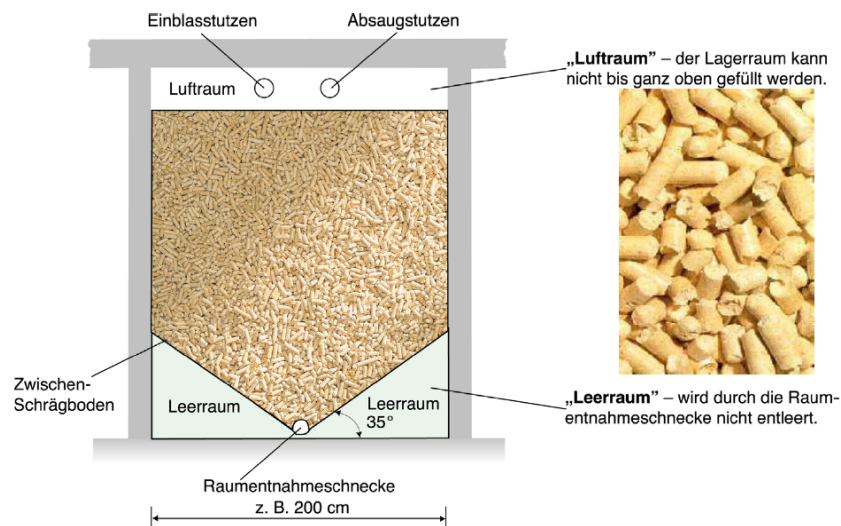


Bild 27 Querschnittsdarstellung Pelletlager mit Schrägbodenaustragung [ÖkoFEN]

Heizungssysteme mit Sonnenkollektoren:

Sonnenkollektoren wandeln Strahlungsenergie der Sonne in Wärme um. Das Solarenergieangebot ist im Sommer am größten, d.h. zu einer Zeit, in der sich der Heizenergiebedarf weitestgehend auf die Brauchwassererwärmung beschränkt. Das Bild 28 zeigt die Verschiebung von Wärmeangebot und Wärmebedarf über das Jahr. Auf Grund dieser Verschiebung wird ein Wärmespeicher als Bindeglied zwischen konventioneller Wärmeversorgungsanlage und der Nutzung von Solarenergie vorgesehen [Pech].

In einem Solaranlagen-system wird die Sonnenenergie von den Absorberflächen der Kollektoren aufgenommen und mittels einer frostsicheren Trägerflüssigkeit zum Speicher geleitet. Die Wärmeverteilung erfolgt wie bei konventionellen Heizungssystemen.

Eine Solaranlage zur Heizwärmeerzeugung kostet im Mittel 1000 €/m² Kollektorfläche. Der auf die Bruttofläche des Kollektors bezogene solare Ertrag beträgt etwa 250 kWh/m²a. Bei einer Anlagenbetriebszeit von 20 Jahren mit angenommenen Kapitalzinsen von 6 %, ergeben sich Kosten von 0,40 €/kWh. Solarheizungsanlagen erreichen einen Nutzungsgrad von 20 % [Pech].

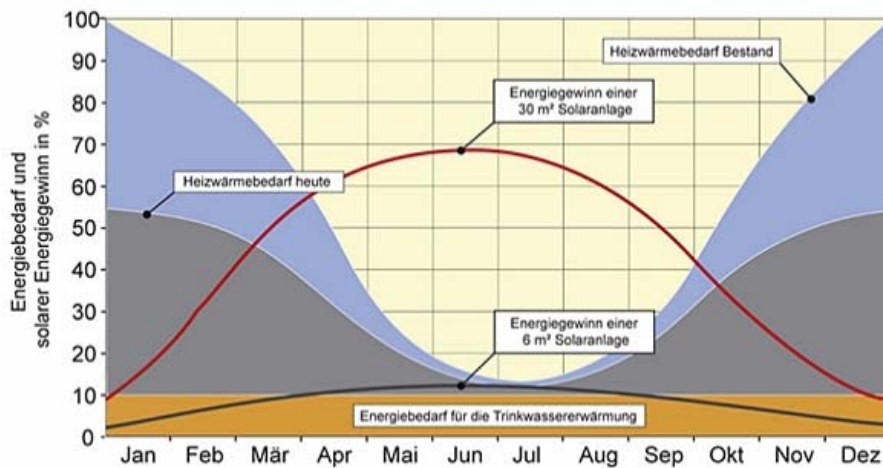


Bild 28 Heizenergiebedarf und Solarenergieangebot [TaschBuch]

In Bild 29 ist ein Anlagenschema mit den zugehörigen Anlagenkomponenten dargestellt, welches in der Regel für Einfamilienhäuser in Deutschland verwendet wird. Der zentrale Pufferspeicher ist das wichtigste Bauteil in diesem System. Der Pufferspeicher (hier: Schichtspeicher) wird hier im oberen Bereich von einer konventionellen Heizung und im darunter liegenden Bereich vom Solarkreis beladen. Die Bereitstellung des Warmwassers erfolgt über einen externen Plattenwärmeübertrager.

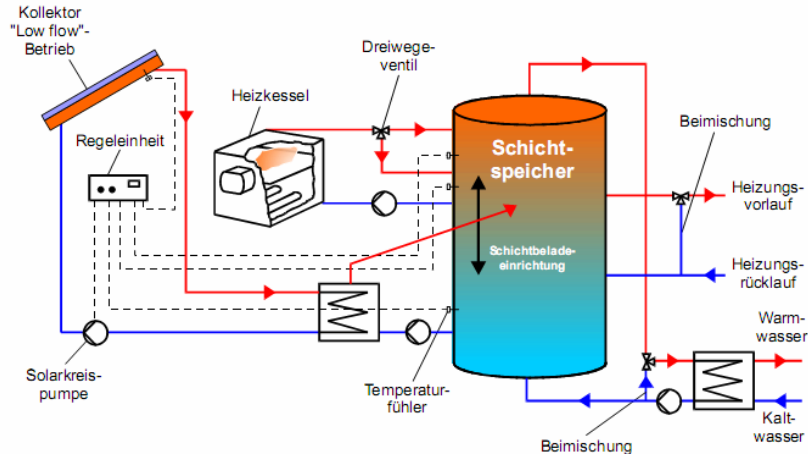


Bild 29 Prinzipieller Aufbau einer Solarunterstützten Kombianlage mit „Schichtspeicher“ und „Low-Flow-Prinzip“, sowie externem WT zur Warmwasserbereitung [IGS]

Ein solarunterstütztes Nahwärmesystem gestaltet sich wirtschaftlich, wenn für mehrere nah beieinander liegende Gebäude (Ein- oder Mehrfamilienhäuser) ein zentral angeordneter Wärmespeicher und ein Niedertemperatur- Wärmeverteilungssystem vorgesehen werden. In Bild 30 ist ein Beispiel für ein solarunterstütztes Nahwärmesystem dargestellt. Die Aufladung des Zentralwärmespeichers erfolgt im Sommer durch dezentral auf den Dachflächen oder

auf freien Flächen angeordneten Kollektoren. Sofern Heizwärme benötigt wird, wird die Wärme vom Pufferspeicher über das Nahwärmenetz in die Gebäude transportiert.

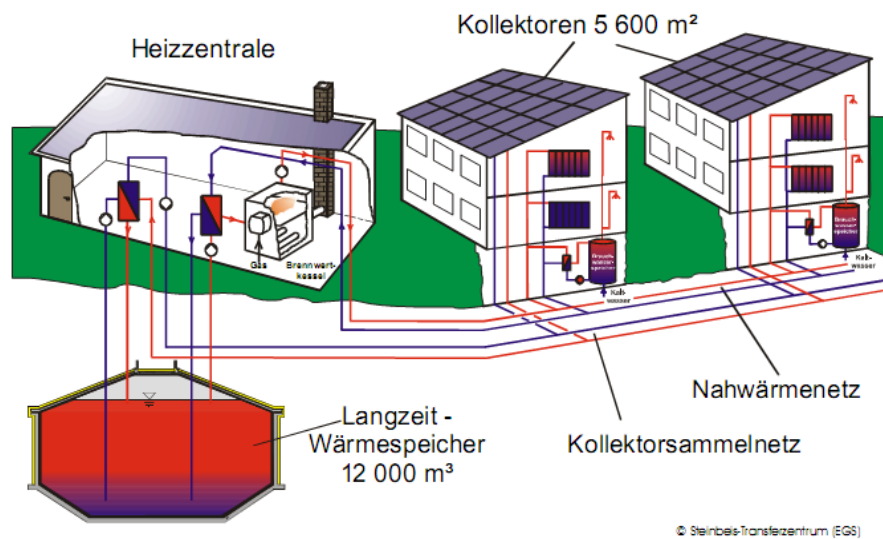


Bild 30 Zentrale solarunterstützte Nahwärmeversorgung mit Langzeitwärmespeicher [IGS]

Kurzzeit-Wärmespeicher: Die Solaranlage mit Kurzzeit-Wärmespeicher wird zur Deckung eines Anteils von 50 % des Wärmebedarfs zur Warmwasserbereitung, sowie der Netzverluste ausgelegt. Dies entspricht einem Deckungsanteil von etwa 6 bis 10% des Gesamtwärmebedarfs. Je MWh/a Gesamtwärmebedarf werden etwa 0,25 bis 0,35 m² Flachkollektoren benötigt. Die erforderliche Speichergröße liegt bei 60 bis 70 l pro m² Kollektorfläche.

Mehrtages-Wärmespeicher: Eine Nahwärmeversorgung mit Mehrtagespeicher soll etwa 20 bis 30% des Gesamtwärmebedarfs solar decken können. Dies erfordert neben einer vollständig solaren Deckung in den Sommermonaten einen wesentlichen Beitrag der Solaranlage in der Übergangszeit. Dazu ist ein Speicher erforderlich, der die Wärme für etwa 2 Wochen speichern kann. Dies erfordert Speichergrößen von ca. 150 bis 200 l pro m² Kollektorfläche.

Langzeit-Wärmespeicher: „Langzeitwärmespeicher müssen einfach, kostengünstig und ökologisch sein, um eine Chance am Wärmemarkt zu haben.“ [PfeilKochHahne]

Die Solaranlage mit Langzeit-Wärmespeicher wird zur Deckung von etwa 30 bis 50 % des Gesamtwärmebedarfs ausgelegt. Die in den Sommermonaten eingespeicherte Wärme deckt den Wärmebedarf im Sommer und trägt je nach Dimensionierung bis in die Wintermonate zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung bei. Das Verhältnis Speichervolumen zu Kollektorfläche beträgt zwischen 1,5 und 2,5 m³/m² (Wasseräquivalent).



Bild 31 Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit Langzeit-Wärmespeicher [Fisch]

In den realisierten Pilotanlagen (siehe Bild 31 und Bild 32) wurden, je nach Anlagengröße, 1,25 - 2,5 m² Flachkollektorfläche je MWh jährlichem Wärmebedarf installiert. Das Speichervolumen beträgt 0,14 - 0,2 m³ Wasseräquivalent je m² Flachkollektorfläche. Zur genauen Anlagendimensionierung sollte ein Verbrauchsprofil ermittelt werden. Für die Planung eines Langzeit-Wärmespeichers sind detaillierte Simulationsrechnungen unerlässlich. Meist wird hierzu das Simulationsprogramm [TRNSYS] verwendet.

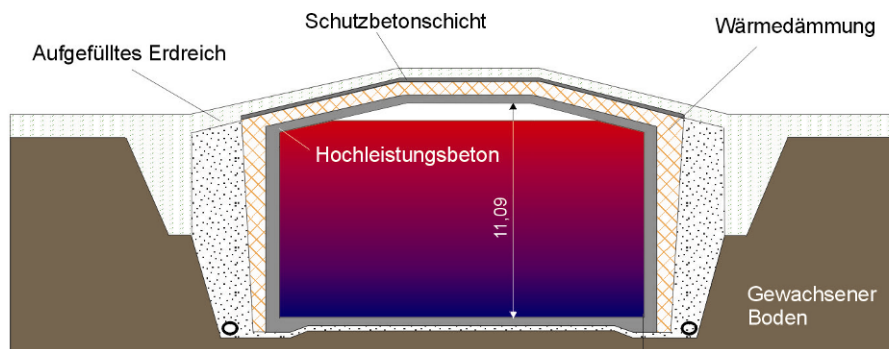


Bild 32 Speichervolumen Langzeitwärmespeicher [Fisch]

Kollektorfelder: Für die Montage der Kollektorfelder müssen große, zusammenhängende Dach- oder Grundstücksflächen mit möglicher Südausrichtung zur Verfügung gestellt werden. Bei starker Abweichung von der optimalen Orientierung ist mit Ertragsseinbußen und bei zu kleinen Kollektorflächen mit erheblichen Mehrkosten zu rechnen.

Nichtkonzentrierende Flachkollektoren im Niedertemperaturbereich werden z.B. für die Warmwasser- und Heizungswasserbereitung eingesetzt (siehe Bild 33).



Bild 33 Kollektoren auf Flachdach montiert sowie ein Flachdachständer [Solvis]

Funktionsweise im Flachkollektor: Die Sonne scheint auf die Kollektoroberfläche, erwärmt dabei die Luft im Inneren des Kollektors und heizt die Absorberfläche auf.

Die Oberseite des Absorbers besteht aus einer transparenten Schicht (ein- oder zweischichtiges Glas oder Kunststoff (EPDM, Polypropylen, Polyethylen)), die Unterseite ist, möglichst transparent (minimale Verluste durch Wärmeleitung), wärmegeämmt.

Die Flachkollektoren werden in das Dach integriert oder durch Ständergerüste auf das Dach montiert.

Die Absorberfläche besteht aus einer schwarz beschichteten Metallfläche, meist Kupfer oder Aluminium, die die Wärme besonders gut leitet und aufnimmt. und sie auf das in integrierten Röhren fließende, frostsichere Wasser-Glykol-Gemisch überträgt.

Die aufgeheizte Flüssigkeit wird über ein Rohrleitungssystem zum Pufferspeicher bzw. zum Heizsystem weitergeleitet.

Im Kollektor können bei einer Bestrahlungsstärke von 1000 W/m^2 Stillstandstemperaturen (dem Kollektor wird keine Nutzleistung entnommen) bis zu 200°C auftreten. Deshalb müssen die Kollektorbauerteile für diese Temperaturen ausgelegt werden.

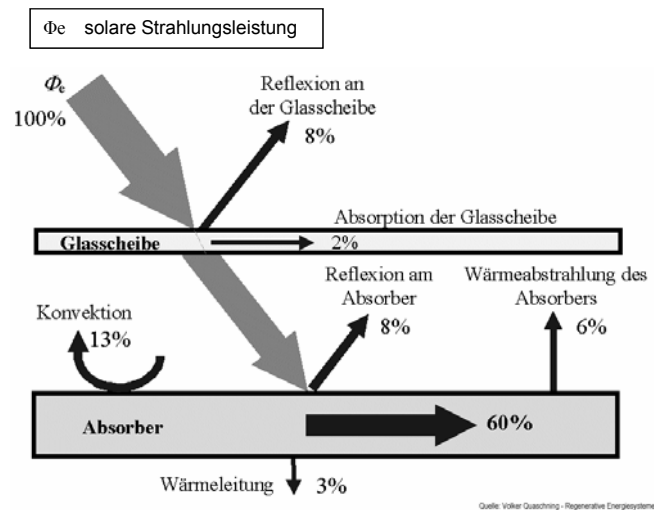


Bild 34 Energieumwandlung im Sonnenkollektor und mögliche Anteile der verschiedenen Verluste (nach[Wag95]). Quelle: Regenerative Energiesysteme, V. Quaschnig

Bild 34 zeigt den Aufbau eines Flachkollektors mit den möglichen Anteilen der Verluste durch Strahlung, Konvektion und Reflexion.

Der Wirkungsgrad des Kollektors kann durch folgende Maßnahmen erhöht werden:

- Konvektionsverluste können durch Vakuum zwischen Deckscheibe und Absorber verringert werden.
- Geeignete Materialien der Glasscheibe erhöhen den Transmissionsgrad und reduzieren den Reflexionsgrad.
- Selektive Beschichtungen, wie z.B. Schwarzchrom, absorbieren die Sonnenstrahlung, geben aber im Gegensatz zu schwarz lackierten Absorberoberflächen eine geringere Wärmestrahlung ab.

Funktionsweise im Röhrenkollektor:

Der Röhrenkollektor arbeitet nach dem Durchflussprinzip. Eine Minstdachneigung ist nicht erforderlich. Durch das Vakuum in der Glasröhre kann zwischen der warmen Absorberfläche und der Glasröhre kein Wärmetransport stattfinden. Der Absorber nimmt die Strahlungswärme der Sonne auf und leitet diese an das angeschweißte Wärmerohr weiter. Im Sammlerkasten befinden sich Solarvorlauf und Solarrücklauf. Die kalte Wärmeträgerflüssigkeit durchströmt parallel jede der (meistens) 15 Vakuumröhren. Ein Trennblech teilt das angeschweißte Wärmerohr längs in zwei Kammern. Die Wärmeträgerflüssigkeit fließt in der unteren Kammer zum unteren Ende des Wärmerohres, wird dann umgelenkt und fließt in der oberen

Kammer wieder zurück. Dabei nimmt die Wärmeträgerflüssigkeit die Wärme vom angeschweißten Absorberblech auf und transportiert sie zum Speicher (Solarvorlauf).

Vorteile:

- einzelne Röhren sind austauschbar
- Montage gegenüber Flachkollektoren wesentlich leichter
- Röhrenkollektoren benötigen ca. 25% weniger Fläche als Flachkollektoren bei gleicher solarer Deckung
- höherer Nutzungsgrad
- jede Vakuumröhre ist drehbar

Nachteile:

- teurer als Flachkollektoren
- höhere Bruchgefahr

4.4 Technologien zur Kälteversorgung

Moderne Gebäudekonstruktionen mit großflächiger Verglasung, die Zunahme von Wärmequellen innerhalb der Gebäude, steigende Außentemperaturen in den Sommermonaten und der Anspruch auf ein komfortables und angenehmes Raumklima bewirkten, dass der Markt "Gebäudeklimatisierung" in den letzten Jahren enorm gewachsen ist. Klimatisierung bedeutet einerseits behaglicheres Wohnen und Arbeiten und andererseits einen bedeutend höheren Energieverbrauch, vor allem zur Deckung des Kühlbedarfs im Sommer. Zurzeit werden Kälteanlagen fast ausschließlich mit Strom betrieben.

4.4.1 Konventionelle Systeme zur Kälteversorgung

Um Kälte zu produzieren bzw. einem System Wärme zu entnehmen, wird ein thermodynamischer Kreisprozess mit einem Kühlmedium realisiert.

Verschiedene physikalische Prozesse liegen der Realisierung des thermodynamischen Kreisprozesses zu Grunde, wie:

- der Kompressionskälteprozess, unter Zufuhr mechanischer Energie,
- der Sorptionswärmeprozess, unter Zufuhr von Wärmeenergie und
- der thermoelektrische Kälteprozess, unter Zufuhr elektrischer Energie
- In der folgenden Ausführung wird nur auf die Kompressions-Kälteanlage eingegangen:

Kompressions-Kälteanlagen: Zur Kälteversorgung der Gebäude finden Kälteanlagen ihre Anwendung. Sie sind zu 90 % als Kompressions-Kälteanlagen ausgeführt.

Eine Kompressions-Kälteanlage besteht aus folgenden Komponenten:

- Kältemittel-Verdichter = Kompressor (komprimiert Kältemittel)
- Kältemittel- Verflüssiger = Kondensator(erwärmt Wärmeträger)
- Kältemittel -Expansionsventil = Expansionsventil (entspannt Kältemittel)
- Kältemittel-Verdampfer = Kühler (kühlt Kälte-träger)

Das Kältemittel durchläuft folgenden Kreisprozess:

Mit der Ausgangstemperatur (abhängig vom eingesetzten Kältemittel) von etwa +5 °C strömt das Kältemittel in einen Verdampfer, wo ihm die Verdampfungswärme, die in der umgebenden Luft enthalten ist, zugeführt wird. Dabei wird der Luft Wärme entzogen und kühlt sich ab. Bei der anschließenden Komprimierung des Kältemittels auf etwa 8 bar, wird das Temperaturniveau des Kältemittels auf etwa 45 °C angehoben. Im Verflüssiger, der luft- oder wassergekühlt ist, gibt das Kältemittel Wärme durch Kondensation ab. Das flüssige Kältemittel wird in einem Sammelgefäß gesammelt und anschließend in einem Expansionsventil auf den Arbeitsdruck entspannt.

4.4.2 Kühltssysteme auf Basis regenerativer Energieträger

Solare Kühlung: Um Gebäude mit Solarenergie zu kühlen, stehen heute mehrere Verfahrenstechnologien zur Auswahl. Dennoch werden hauptsächlich zentrale solarthermisch angetriebene Anlagen technisch realisiert. Man unterscheidet hier zwischen geschlossener Kältemaschine und offenem Verfahren.

Bei der Verwendung von geschlossenen Kältemaschinen wird Kaltwasser aus thermischer Energie bereitgestellt, welches zur Raumklimatisierung verwendet werden kann. Folgende Technologien finden hauptsächlich Anwendung:

Ab- und Adsorptionskältemaschinen und Dampfstrahlkältemaschinen.

Offene Verfahren, auch als "Desiccant and Evaporative Cooling (DEC)" bezeichnet, basieren auf einer Kombination der sorptiven Luftfeuchtung mit Verdunstungskühlung.

„Offen“ bedeutet, dass das Kältemittel Wasser direkt mit der Atmosphäre in Verbindung steht.

Diese Verfahren werden hauptsächlich zur Versorgung von Räumen mit konditionierter Frischluft eingesetzt. Bei diesen Verfahren ist eine Temperatur und Feuchtere-gelung möglich.

Die Solarstrahlung findet an folgender Stelle im Klimatisierungsprozess Anwendung: In einem Solarkollektor wird Strahlung in Wärme umgewandelt und als Antriebswärme im Kälteprozess genutzt. Mittels eines entsprechenden Verfahrens wird dem Gebäude entweder Kaltwasser oder direkt konditionierte Frischluft bereitgestellt [WärmeKälte].

Solarunterstützte Kälteversorgung stellt ein beachtliches Einsparpotential an fossilen Brennstoffen dar.

Wärmepumpenkühlung: Eine Wärmepumpen-Heizungsanlage kann optional auch zur Kühlung genutzt werden. Hierfür kommen nachrüstbare passive Kühlsysteme zum Einsatz, die in der Lage sind mit geringsten Betriebskosten zu kühlen [www.dimplex.de].

Die reversible Wärmepumpe hat zusätzlich ein 4-Wege-Ventil und ein zweites Expansionsventil im Kältemittelkreislauf. Die Fließrichtung des Kältemittels ist automatisch über das 4-Wege-Ventil steuerbar, so dass der Verdichter die Förderrichtung beibehalten kann. Beim Kühlprozess wird also der ursprüngliche Verflüssiger zum Verdampfer, der die Raumwärme auf das Kältemittel überträgt. Von hier an erfolgt der umgekehrt übliche Weg; die Wärme wird über das Ventil zum Verdichter, von dort aus zum Wärmetauscher in die Atmosphäre befördert [www.effiziento.de].

Freie Kühlung (Natural Cooling) nutzt die Gegebenheit, dass das Grundwasser oder das Erdreich im Sommer kühler ist als die Temperaturen der Innenräume. So können Erdreich und Grundwasser ein Gebäude natürlich und direkt kühlen. Einige Wärmepumpen bieten in ihrer Regelung die Funktion "Free Cooling" an. Lediglich die Klasse der Luft/Wasser-Wärmepumpen kann wegen der hohen Außenlufttemperaturen im Sommer "Free Cooling" nicht ausreichend realisieren.

4.5 Lüftung von Gebäuden

Unzureichende Lüftung stellt heute in Wohn- bzw. Bürogebäuden ein großes Problem dar. Ursachen dafür sind hermetisch abgedichtete Fenster, luftundurchlässige Außenfassaden bzw. fehlende Lüftungsmöglichkeiten. Die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste sind aufgrund der baulichen Ausführung gering, jedoch der natürliche Luftaustausch wird unterbunden. Schlechte Luft, Feuchtigkeit und Schimmelwachstum sind die Folgen.

Die Raumluftechnik wird in freie Lüftungssysteme und raumluftechnische Anlagen (RLT-Anlagen) unterteilt [TaschBuch].

4.5.1 Freie Lüftung

„Unter freier Lüftung ist eine Lüfterneuerung (Luftaustausch) zu verstehen, die durch Ausnutzung der natürlichen Druckunterschiede infolge Wind und/oder Temperaturdifferenzen zwischen außen und innen ohne Verwendung von Kraftgetriebenen Ventilatoren hervorgerufen wird [TaschBuch].

Zur freien Lüftung gehört:

- Fugenlüftung - die Luft dringt in einen Raum durch Undichtigkeiten in Fenstern und Türen und geringfügig durch die Fassade ein,
- Fensterlüftung - Lüfterneuerung, die durch Öffnen von Fenstern hervorgerufen wird,
- Schachtlüftung - Verstärkung des natürlichen Luftwechsels durch einen über Dach geführten Schacht (Schornsteinwirkung) und
- Dachaufsatzlüftung - freie Lüftung, die durch Aufsätze, kurze Schächte oder andere Entlüftungsöffnungen im Dach von Gebäuden entsteht.

Die Fensterlüftung (siehe Bild 35) ist die einfachste Form der Luftversorgung von Gebäuden. Winddruckverhältnisse und die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft beeinflussen die Luftwechselrate. Die Wirksamkeit der Lüftung hängt entscheidend vom Nutzerverhalten ab. Dies gilt auch für mögliche höhere Wärmeverluste durch zu häufiges oder Dauerlüften. Bei der freien Lüftung ist keine Wärmerückgewinnung aus der Abluft möglich.

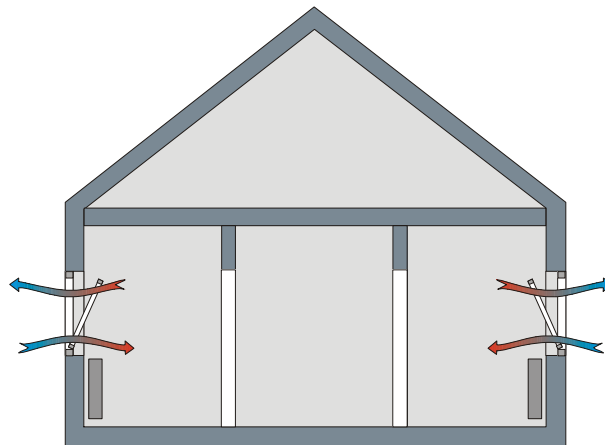


Bild 35 Prinzip der Fensterlüftung [IGS]

4.5.2 RLT- Anlagen

Wenn die Fensterlüftung z.B. wegen Geruchsbelästigung etc. nicht ausreichend ist, eine nutzerunabhängige Lüftung z.B. wegen häufiger Abwesenheit der Bewohner erfolgen soll oder die Lüftungswärmeverluste reduziert werden sollen, werden raumluftechnische Anlagen

(RLT- Anlagen) eingesetzt. RLT- Anlagen sollen Aufenthaltsräume und Arbeitsbereiche von Menschen mit ausreichend Frischluft versorgen und sowohl im Sommer als auch im Winter ein behagliches Raumklima ermöglichen. Der Behaglichkeitsbereich umfasst eine Temperaturspanne von 20 °C bis 27 °C und eine relative Luftfeuchte zwischen 30 % und 65 %.

RLT- Anlagen ermöglichen Wärmerückgewinnung aus der Abluft. Bild 36 zeigt eine raumlufttechnische Anlage mit Luft/Luft-Wärmerückgewinnung.

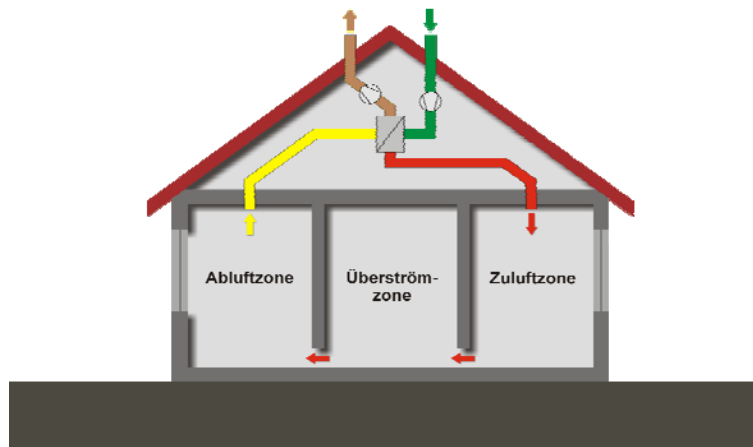


Bild 36 Prinzip einer mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung [IGS]

RLT- Anlagen:

- Nur- Luft-Anlagen - dienen unter anderem zur Abfuhr von thermischen Lasten;
- Luft- Wasser-Anlagen - Außenluftversorgung, Abfuhr von Feuchtelasten, Luftreinigung und ggf. Schutzdruckhaltung erfolgen mit dem Medium Luft, während die Lastabfuhr mit dem Medium Wasser realisiert wird,
- Luft-Kältemittel-Anlagen - Außenluftversorgung, zum Teil Abfuhr von Feuchtelasten, Luftreinigung und ggf. Schutzdruckhaltung erfolgt mit dem Medium Luft, während die Lastabfuhr und, systemabhängig auch die Feuchtelasten mit dem Medium Kältemittel geschieht.

4.6 Kraft-Wärme-Kopplung - BHKW

Ein Blockheizkraftwerk (BHKW) ist eine modular aufgebaute Anlage zur Erzeugung von Wärme und elektrischem Strom. Das Arbeitsprinzip des Kraftwerkes wird Kraft-Wärme-Kopplung genannt. BHKWs werden vorzugsweise am Ort des Wärmeverbrauchs betrieben, bzw. wird die Nutzwärme in ein Nahwärmenetz eingespeist.

Basiert die BHKW- Anlage auf Verbrennungsmotoren (z.B. Ottomotor, Zündstrahlmotor) oder Gasturbinen, wird die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme des Abgases und des Kühlwasserkreislaufes zur Aufheizung von Heizungswasser verwendet.

Als Brennstoffe kommen sowohl fossile (Heizöl, Erdgas) wie auch regenerative Kohlenwasserstoffe (z.B. Pflanzenöl, Biodiesel, Biogas) zum Einsatz. Nachwachsende Rohstoffe wie Holzhackschnitzel und Holzpellets werden in Stirling- Motoren und Dampfkraftanlagen mit externer Verbrennung genutzt.

Vorteile einer BHKW- Anlage:

- Schonung der Umwelt und der Energieressourcen durch:
 - Hohen Gesamtnutzungsgrad von 80 % bis 90 % und dadurch
 - Primärenergieeinsparung bis zu 40% und entsprechend geringere Emissionen sowohl von CO₂ als auch von Staub NO_x, SO_x etc.
- Verminderung der Steuerbelastung durch Eigenerzeugung elektrischen Stroms und Wärme

Nachteile einer BHKW- Anlage:

- nur hohe Gesamtnutzungsgrade, wenn Prozesswärme optimal genutzt wird (saisonale Wärmebedarfsschwankungen),
- hoher Anschaffungspreis für Ein- und Mehrfamilienhäuser.

5 Baulicher Wärmeschutz von Gebäuden in Deutschland und Kasachstan

5.1 Standard des baulichen Wärmeschutzes in Deutschland

In Deutschland fällt etwa ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs auf den Haushaltssektor. Von diesem Drittel wird über die Hälfte der Energie für die Wärmeversorgung und Klimatisierung von Gebäuden verbraucht. Während im Bereich des Heizenergieverbrauchs schon seit Jahren mithilfe von Gesetzgebungen durch z.B. die heute gültige Energieeinsparverordnung und effektiven Technologien der Energieverbrauch sinkt, wächst der Marktanteil der Gebäudeklimatisierung und somit der Energieverbrauch.

Das folgende Bild 37 zeigt die Entwicklung des maximal zulässigen Jahresenergieverbrauchs in kWh/(m²a), beginnend mit der Norm [WSVO 1977] bis zur heute gültigen [EnEV] für Gebäude.

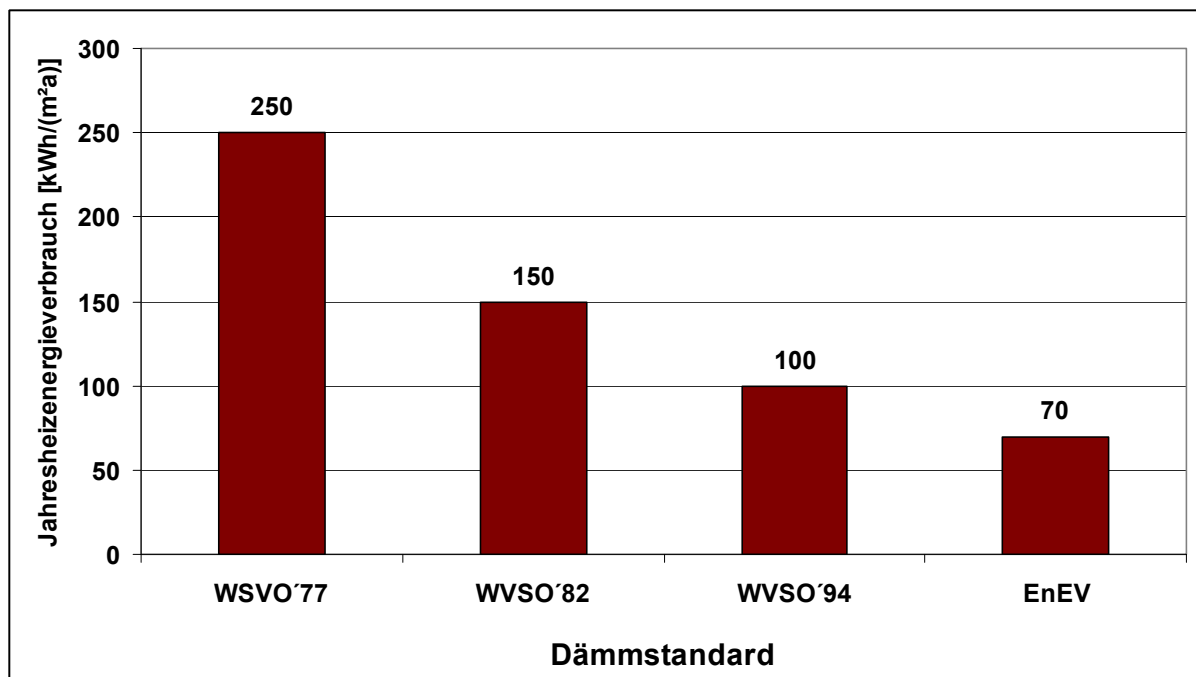


Bild 37 maximal zulässiger Jahresheizenergieverbrauch in kWh/(m²a) für Wohngebäude [Liersch]

Die Energieeinsparverordnung [EnEV] ist das in Deutschland verlangte Nachweisverfahren des energiesparenden Bauens. Der energierelevante Anforderungswert für Gebäude ist der so genannte Jahres-Primärenergiebedarf, in dem nicht nur bauliche, sondern auch heizungstechnische Einflussgrößen eingehen.

Im Folgenden wird detaillierter auf die in der Arbeit berücksichtigte [EnEV] eingegangen:

Die [EnEV] ist seit dem 1. Oktober 2007 gültig. Ihre komplette Bezeichnung lautet: „Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden“. Die Energieeinsparverordnung verfolgt das Ziel, unnötige Energieaufwendungen für Gebäude zu vermeiden. Die [EnEV] beinhaltet Verordnungen des Energieeinsparungsgesetzes: Diese Verordnungen werden in drei Kategorien eingeteilt:

- Wärmeschutzverordnung
- Heizkostenverordnung
- Heizungsanlagenverordnung

Seit Inkrafttreten der ersten Energieeinsparverordnung am 1. Februar 2002 sind bedeutende Fortschritte im Bereich der Qualität, der Umweltverträglichkeit und der Lebensdauer von Gebäuden zu verzeichnen. Mit der [EnEV] wurden rechtliche Referenzen für den Energieverbrauch in Gebäuden bzw. standardisierte Gebäudeausführungen geschaffen.

Vor 2002 wurde dem gesamten Energieverbrauch anschließend genannter Bereiche des Energiehaushaltes nur eine oberflächliche Beachtung geschenkt:

- bauliche Hülle
- eingesetzte Energieträger
- Beleuchtung
- Heizung-, Kühlung-, und Lüftungsanlage
- Wärmedämmung (Wärmebrücken, Luftdichtheit, ect.)

In der [EnEV] wird unter anderem der maximale Wärmedurchgangskoeffizient U_{\max} in $[W/m^2K]$ bzw. $U \cdot A = H_T$, $[W/K]$ festgelegt, die bei Änderungen von Außenbauteilen bestehender Gebäude oder bei der Errichtung von Gebäuden nicht überschritten werden dürfen.

Die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen nach [EnEV] vom 24. Juli 2007 sind tabellarisch im Bild 38 gezeigt. Detaillierte Ausführungen zur Anwendung sind der [EnEV] ab Seite 53 zu entnehmen.

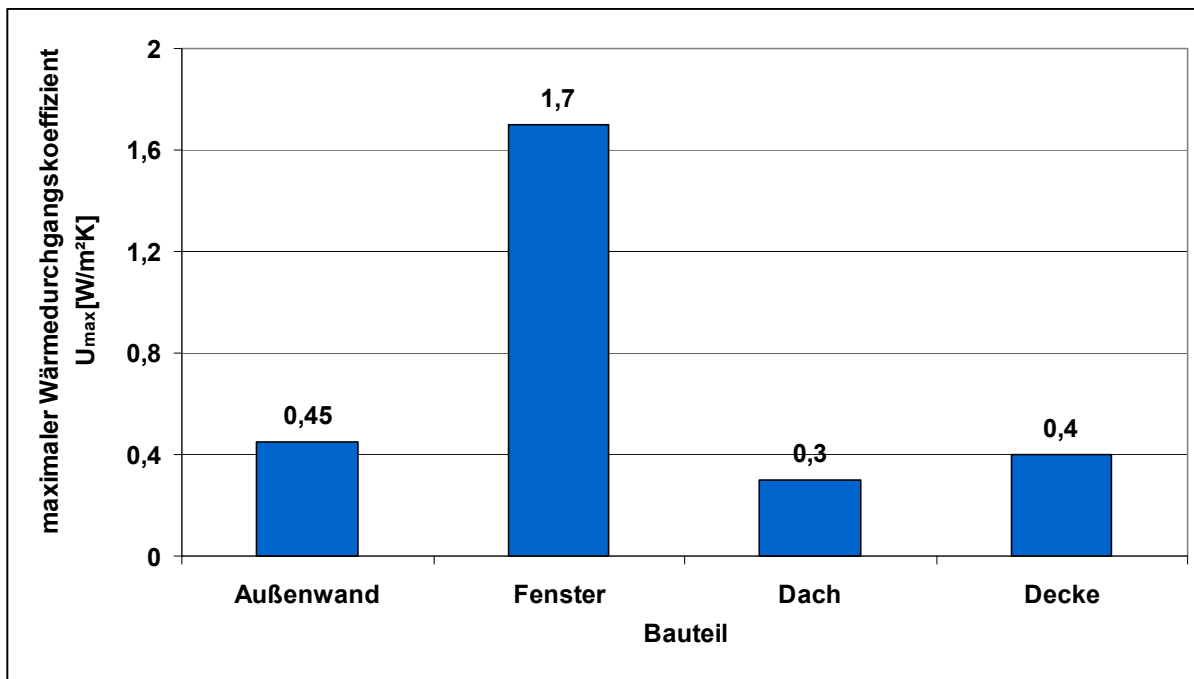


Bild 38 Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen [Liersch]

5.2 Standard des baulichen Wärmeschutzes in Kasachstan

Wärmeschutzstandard - nach [SNIP] oder „СНП“ (in die deutsche Sprache übersetzt bedeutet die Abkürzung: Bauliche Normen und Richtlinien in Kasachstan).

Heute wird in Kasachstan der in der Russischen Föderation ausgearbeitete bauliche Standard [SNIP] angewendet. [SNIP] ist seit 1 Oktober 2003 gültig. Dieser entspricht in etwa den Normen und Richtlinien der [DIN V 4108-6] in Deutschland.

SNIP definiert Anforderungen an die thermische Isolation des Gebäudes und konzipiert Kennzahlen zur energetischen Gebäudeeffizienz (Jahresheizwärmebedarf).

Die Einhaltung dieser baulichen Normen soll die Reduzierung des Energieverbrauchs zur Folge haben unter Berücksichtigung der hygienischen Parameter und des optimalen Mikroklimas, sowie die Gewährleistung einer langen Lebensdauer von Gebäudeaußenteilen.

Die Festlegung dieser Normen ist Bestandteil der allgemeinen Energieversorgungs-Aufgaben. Mit der Realisierung der effizienten thermischen Isolation werden parallel Maßnahmen zur Effizienz der Technischen Gebäudeausrüstung, Verlustsenkung bei der Energie-

erzeugung und des- Transports, sowie zur Reduzierung des Energieverbrauches in Steuerungs- und Regelungssystemen getroffen.

Diese Anforderungen werden ferner aus Sicht des Klimaschutzes sowie der Einsparung nicht regenerierbarer Ressourcen betrachtet.

5.2.1 Anforderungen an die Gebäudehülle

In der SNIP sind drei Parameter der Gebäudehülle definiert:

Wärmedurchlasswiderstand von Bauteilen
hygienische Parameter (Vermeidung von Wasserdampfkondensation)

Jahresheizwärmebedarf - erlaubt die Abweichung des Wärmedurchlasswiderstandes verschiedener Bauteile von der Norm und Ausarbeitung technischer Komponenten, die ein definiertes Mikroklima gewährleisten.

Die Forderungen des baulichen Standards an die Gebäudehülle sind erfüllt, wenn für öffentliche Gebäude und Wohngebäude entweder die Parameter 1 und 2 oder 2 und 3, für Industriegebäude die Parameter 1 und 2 eingehalten werden.

Um die Einhaltung der baulichen Anforderungsparameter zu kontrollieren, wird ein „Energiepass“ für Gebäude eingeführt.

5.2.2 Klassifikation des Gebäudes nach Feuchtigkeitsgrad und Tauwasserfreiheit

Der Zustand des Gebäudes wird hinsichtlich des Feuchtigkeitsgrades der Innenoberfläche der Außenwand nach Tabelle 3 ermittelt [SNIP].

Feuchtigkeitsgrad	Relative Luftfeuchte / Temperatur		
	bis 12 °C	von 12 bis 24 °C	über 24 °C
trocken	bis 60%	bis 50%	bis 40%
normal	von 60 bis 75%	von 50 bis 60%	von 40 bis 50%
feucht	über 75%	von 60 bis 74%	von 50 bis 60%
nass	-	über 75%	über 60%

Tabelle 3 Gebäudezustand [SNIP]

Die [SNIP] fordert eine Gewährleistung der Tauwasserfreiheit auf der Innenoberfläche der Außenwände.

Aus nachfolgender Berechnungsvorschrift ist die Abhängigkeit der Taupunkttemperatur vom Wärmedurchlasswiderstand erkennbar. Wird ein Mindestwert des Wärmedurchlasswiderstandes eingehalten, ist in jedem Fall die innere Oberflächentemperatur der Außenwand größer als die Taupunkttemperatur der Raumluft und damit die Tauwasserfreiheit gewährleistet.

$$R_{\text{erf}} = R_i \cdot \frac{(t_i - t_a)}{(t_i - t_s)} \cdot (t_i + t_a) \quad \text{Gl. (1)}$$

t_s - Taupunkttemperatur der Raumluft [°C]

t_i - Innentemperatur [°C]

t_a - Außenlufttemperatur [°C]

R_i - Innenwiderstand der Wand [m²·K/W]

5.2.3 Wärmedurchlasswiderstand von Gebäudebauteilen

Der Wärmedurchlasswiderstand R_0 in m²K/W beschreibt die Wärmedämmwirkung eines Bauteiles.

Der Wärmedurchlasswiderstand der Außenwände, Fenster, Glasbauteile mit einem Neigungswinkel von $\leq 45^\circ$ darf nicht den in der [SNIP] geforderten Grenzwert R_{reg} in m²K/W überschreiten. Der Grenzwert R_{reg} in [m²K/W] für die Gebäudehülle ist in der Tabelle 4 in Abhängigkeit von Jahresgradtagen D_d in [K/d* a] festgelegt.

Der Wärmedurchlasswiderstand R_{reg} für von den Tabellenwerten abweichenden Jahresgradtagen D_d wird mit den Gradtagen einer Heizperiode nach folgender Berechnungsvorschrift ermittelt:

$$R_{\text{reg}} = a \cdot D_d + b \quad \text{Gl. (2)}$$

a, b – Koeffizienten, Tabelle 4 nach SNIP (siehe Anhang)

Gebäudetyp, Koeffizienten a und b	Gradtag- zahl D _d [K*d/a]	Grenzwert der Außenbauteile				
		R _{req} [m²K/ W]				
		Außen- wände	Dächer	Decken ge- gen unbeheiz- te Räume	Fenster, Fens- tertüren, Ver- glasungen, Vorhangfas- saden	Glas- bauteile
1. Wohngebäude, Ge- sundheits- und Kin- dereinrichtungen, Schulen, Hotels	2000	2,1	3,2	2,8	0,3	0,3
	4000	2,8	4,2	3,7	0,45	0,35
	6000	3,5	5,2	4,6	0,6	0,4
	8000	4,2	6,2	5,5	0,7	0,45
	10000	4,9	7,2	6,4	0,75	0,5
	12000	5,6	8,2	7,3	0,8	0,55
a	-	0,00035	0,0005	0,00045	-	0,00025
b	-	1,4	2,2	1,9	-	0,3
2. Öffentliche außer o.g. und andere Ge- bäude im feuchten und nassen Zustand	2000	1,8	2,4	2,0	0,3	0,3
	4000	2,4	3,2	2,7	0,4	0,35
	6000	3,0	4,0	3,4	0,5	0,4
	8000	3,6	4,8	4,1	0,6	0,45
	10000	4,2	5,6	4,8	0,7	0,5
	12000	4,8	6,4	5,5	0,8	0,55
a	-	0,0003	0,0004	0,00035	-	0,000025
b	-	1,2	1,6	1,3	0,2	0,25
3. Industriegebäude im trockenen und normalen Zustand	2000	1,4	2,0	1,4	0,25	0,2
	4000	1,8	2,5	1,8	0,3	0,25
	6000	2,2	3,0	2,2	0,35	0,3
	8000	2,6	3,4	2,6	0,4	0,35
	10000	3,0	4,0	3,0	0,45	0,4
	12000	3,4	4,5	3,4	0,5	0,45
a	-	0,0002	0,00025	0,0002	0,00025	0,000025
b	-	1,0	1,5	1,0	0,2	0,15

Tabelle 4 Höchstwerte des Wärmedurchlasswiderstands bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen [SNIP]

Gradtage einer Heizperiode werden aus dem Produkt der Temperaturdifferenz (mittlere Raumtemperatur und Tagesmittelwert der Außentemperatur) und der Tagesanzahl einer Heizperiode ermittelt.

$$D_d = (t_{\text{int}} - t_{\text{ht}}) \cdot z_{\text{ht}} \quad \text{Gl. (3)}$$

t_{int} - mittlere Innenlufttemperatur nach [SNIP],

t_{ht} - mittlere Außenlufttemperatur

z_{ht} - Anzahl der Tage der Heizperiode nach [SNIP]

5.2.4 Spezifischer Jahresheizwärmebedarf

Der spezifische Jahresheizwärmebedarf $q_{\text{h}}^{\text{des}}$ in $[\text{kJ}/\text{m}^2 \text{ K} \cdot \text{d}]$ oder $[\text{kJ}/\text{m}^3 \text{ K} \cdot \text{d}]$, bezogen auf eine beheizte Fläche $[\text{m}^2]$ oder auf ein beheiztes Volumen m^3 wird nach der SNIP ermittelt. Er darf nicht den Grenzwert $q_{\text{h}}^{\text{des}}$ überschreiten. Die in der Norm [SNIP] festgelegten Grenzwerte für den Jahresheizwärmebedarf $q_{\text{h}}^{\text{des}}$ verschiedener Nicht-Wohngebäudetypen sind in Tabelle 5 dargelegt.

Gebäudetyp	Anzahl der Etagen					
	1-3	4-5	6-7	8-9	10-11	>12
1. Öffentliche Gebäude, außer in Punkt 2 bis 4 genannte	42;38;36	32	31	29,5	28	-
2. Gesundheitseinrichtungen und Waisenhäuser	34;33;32	31	30	29	28	-
3. Kindereinrichtungen	45	-	-	-	-	-
4. Service-Gebäude	23;22;21	20	20	-	-	-
5. Bürogebäude	36;34;33	27	24	22	20	20

Tabelle 5 Spezifischer Jahresheizwärmebedarf $q_{\text{h}}^{\text{des}}$ $[\text{kJ}/\text{m}^3 \text{ Kd}]$ [SNIP]

Für Regionen mit Jahresgradtagen $D_d \geq 8000 \text{ K} \cdot \text{d}$ sollte der spezifische Jahresheizwärmebedarf $q_{\text{h}}^{\text{des}}$ um 5 % reduziert werden.

5.3 Gebäudetypologien in Ust-Kamenogorsk, Kasachstan

Im städtischen Siedlungsraum sind im Stadtkern von Ust-Kamenogorsk vorwiegend unsanierte mehrgeschossige Wohnungsbauten vorzufinden, welche durch gewerblich genutzte, zeitgenössische Hochhausneubauten verdrängt werden. So entstehen in den Randgebieten neue Mehrfamilienhäuser. Einfamilienhäuser sind im ländlichen Raum bzw. am Stadtrand vertreten. Siehe Bild 39.



Bild 39 links: Typische Einfamilienhäuser am Stadtrand
rechts: Typische Einfamilienhäuser in kleinen Siedlungen
(Almaty) [IGS]

Da sich die bauliche Ausführung und der derzeitige Zustand sich in den Städten der ehemaligen Sowjetunion kaum unterscheiden, wurde für die energetische Einordnung des Bau- und Anlagenstandards in Ust-Kamenogorsk 4 typische Bestandsgebäude der Serien KZ, 69, 158 und WP in Almaty herangezogen. Vor Ort erfolgten die Aufnahme der Geometrie, der Gebäudehülle sowie der Zustand der Außenwände, Fenster, Dachkonstruktion sowie der Haustechnik. Anhand der aufgenommenen Daten konnten die U-Werte der entsprechenden Bauteile ermittelt werden (siehe Tabelle 6).

Als Bezugs- Nichtwohngebäude (Büro- und Verwaltungsgebäude) werden ein ehemaliges Verwaltungsgebäude eines Krankenhauses und das Gebäude der DKU (Deutsch-Kasachische Universität) aufgenommen.

Im Folgenden werden die vier aufgenommenen Wohngebäude sowie die zwei erfassten Nichtwohngebäude anhand von Bildern und Thermographieaufnahmen mit ihren wichtigsten Kennwerten dargestellt (siehe Bild 40 bis Bild 44).

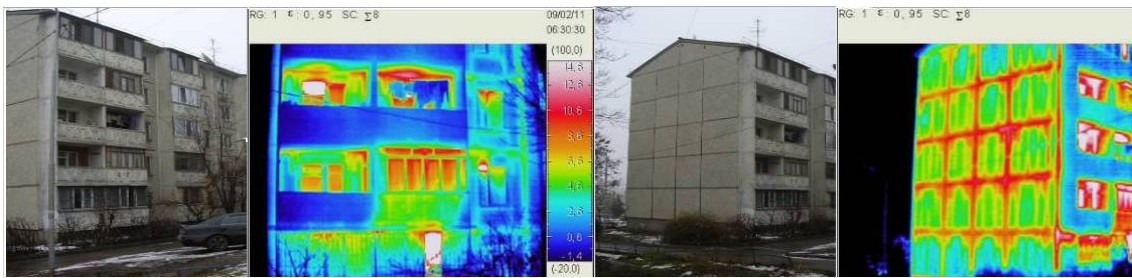


Bild 40 Mehrfamilienhaus der Serie 1KZ - Ansichten und Thermographieaufnahmen [IGS]

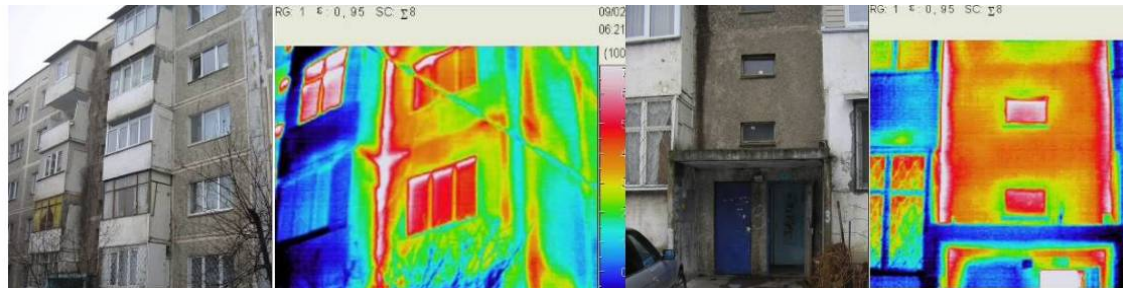


Bild 41 Mehrfamilienhaus der Serie 69 - Ansichten und Thermographieaufnahmen [IGS]

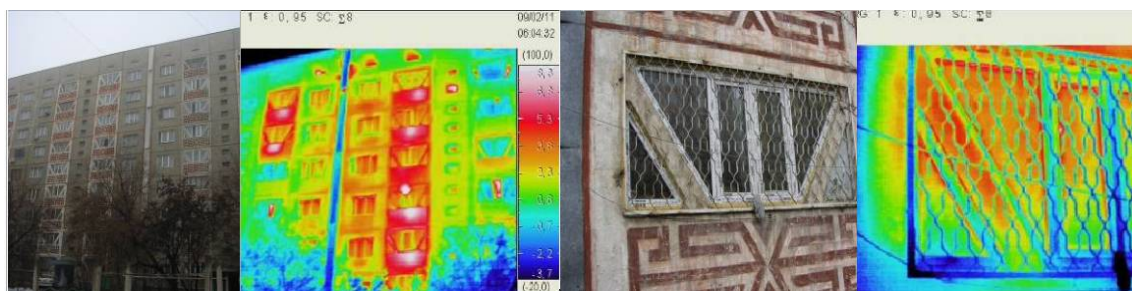


Bild 42 Mehrfamilienhaus der Serie 158 - Ansichten und Thermographieaufnahmen [IGS]



Bild 43 Mehrfamilienhaus der Serie WP - Ansichten und Thermographieaufnahmen [IGS]

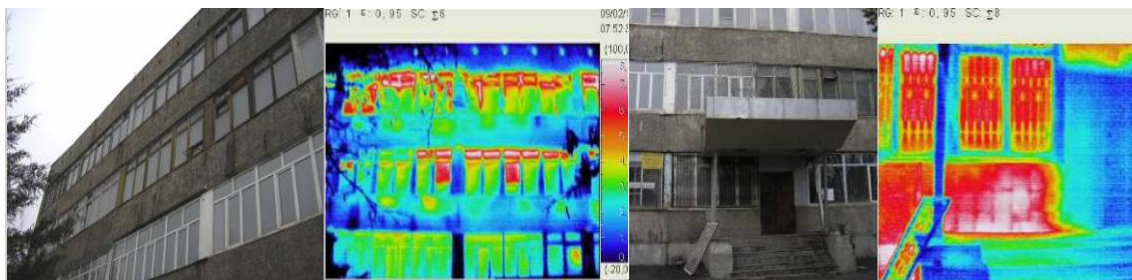


Bild 44 Verwaltungsgebäude eines ehem. Krankenhauses - Ansichten und Thermographieaufnahmen [IGS]

Gebäudeart	Wohngebäude	Wohngebäude	Wohngebäude	Wohngebäude	Verwaltungs-Gebäude	Verwaltungs-Gebäude
Bezeichnung	Serie "WP"	Serie "1KZ"	Serie "158"	Serie "69"	Aeroclub	DKU Almaty
Erbauung	1978	1985	1978/79			
Nutzfläche	18.285 m²	5.314 m²	5.029 m²	3.986 m²	2.212 m²	3.467 m²
Geschosshöhe	3,00 m	2,75 m	3,00 m	3,00 m	3,60 m	3,65 m
Anzahl Geschosse (ohne DG)	6	6	10	6	4	4
Brutto-Volumen	57.141 m³	16.606 m³	15.716 m³	12.456 m³	6.913 m³	10.834 m³
Eingänge/Treppenhäuser	6	3	2	4	2	2
Anzahl WE	120	45	36	40	-	-
U-Werte Bestand						
U-Wert AW	0,6 - 0,7 kWh/(m²a)	0,7 - 0,9 kWh/(m²a)	1,0 - 1,5 kWh/(m²a)	1,0 - 1,5 kWh/(m²a)	1,0 - 1,5 kWh/(m²a)	1,0 - 1,5 kWh/(m²a)
U-Wert Dach/oberste Geschossdecke	0,8 - 1,0 kWh/(m²a)	0,5 - 0,7 kWh/(m²a)	0,8 - 1,0 kWh/(m²a)	0,8 - 1,0 kWh/(m²a)	0,8 - 1,0 kWh/(m²a)	0,8 - 1,0 kWh/(m²a)
U-Wert Fenster	3,5 - 4,5 kWh/(m²a)	3,0 - 4,0 kWh/(m²a)	3,5 - 4,5 kWh/(m²a)	3,5 - 4,5 kWh/(m²a)	3,5 - 4,5 kWh/(m²a)	3,5 - 4,5 kWh/(m²a)
U-Wert Bodenplatte/Kellerdecke	0,6 - 0,8 kWh/(m²a)	0,6 - 0,8 kWh/(m²a)	0,6 - 0,8 kWh/(m²a)	0,6 - 0,8 kWh/(m²a)	0,6 - 0,8 kWh/(m²a)	0,6 - 0,8 kWh/(m²a)
Beheizung	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme	Fernwärme
Lüftung	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster	Fenster

Tabelle 6 Gebäudetypologie der Referenzgebäude. [IGS]

Wärmeschutzstandard - Bestand

Der bauliche Zustand der bestehenden Wohn- und Bürogebäude in Ust-Kamenogorsk wird durch den Wärmeschutzstandard, ermittelt aus den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werten) der Gebäudehülle (Außenwände, Fenster, Dach,...) und der Ausführung der Anlagentechnik, beschrieben.

In der vorliegenden Arbeit werden die benötigten Informationen (Flächen, Kenndaten, Lage, Größe von Fenstern, Türen usw.) zur Ermittlung des Ist-Zustandes der Gebäude aus vorhandenen Grundrissen ermittelt bzw. fehlende Daten sinnvoll mit den Mindestanforderungen nach [EnEV] ergänzt. Die Werte für die Wärmeleitfähigkeit der verwendeten Baustoffe werden jeweils aus der Literatur übernommen. Zur Dokumentation sind die entsprechenden Werte in Tabelle A1 bis Tabelle A4 des Anhangs für diesen Standard hinterlegt.

5.4 Wärmeerzeugung und –Verteilung in den Gebäuden

In den Städten Kasachstans erfolgt die Wärmeversorgung für die nach dem 2. Weltkrieg erbauten Mehrfamilien- und Hochhäuser hauptsächlich über Fernwärme. Die Wärme wird in kohle-, gas- bzw. ölbefeuerten Kraftwerken erzeugt.

In der folgenden Ausführung wird näher auf das bestehende Kohlekraftwerk eingegangen, welches sich in der Nähe der neu geplanten Siedlung in Ust-Kamenogorsk befindet. Dieser Technikstandard ist weitestgehend für bestehende Kohlekraftwerke der ehemaligen Sowjetunion gültig (siehe Bild 45).



Bild 45 Kohlekraftwerk in Ust-Kamenogorsk

Zurzeit wird die Stadt Ust-Kamenogorsk über Fernwärme versorgt, welche zentral in einem 1947 erbauten Kohlekraftwerk mit einer Leistung von 200 MW und einem maximalen Wirkungsgrad von 80 % erzeugt und über ein über- und unterirdisches Fernwärmenetz verteilt wird. Das bestehende Kohlekraftwerk ist ein reines braunkohlegefeuertes Heizwerk - es erzeugt keinen Strom, nur Wärme für die Warmwasserversorgung und Raumbeheizung. Für eine Kilowattstunde Wärme werden 500g Braunkohle (Braunkohlebriketts) benötigt. Als Übertragungsmedium dient Wasser. Das Aufheizen des Wassers erfolgt in Kesselanlagen (Heizkessel).

Die Leistung wurde damals auf die Anzahl der Abnehmer konzipiert und ist heute für die gewachsene Stadt unzureichend. Für die neu entstehende Siedlung muss ein neues Kraftwerk vorgesehen werden, damit die Wärmeversorgung gewährleistet ist.

Die ungenügende und veraltete Filtertechnik verursacht vor allem einen sehr hohen CO₂-, SO_x- und Feinstaubausstoß, was eine große Umweltbelastung für den Menschen, die Gebäude, Flora und Fauna bedeutet. Derzeit befindet sich etwa die Hälfte der in Russland arbeitenden Kraftwerke im erneuerungsbedürftigen Zustand.

Im Mittel werden jährlich auf 100 Netzkilometern etwa 70 Beschädigungen registriert und etwa 30 % der Wärme geht beim Transport durch ungenügende Isolation oder Defekte an der Rohrleitung verloren.

Ca. 82 % der installierten Rohrleitungen bedürfen einer Reparatur und etwa 15 % der Fernwärmerohre befinden sich in einem so maroden Zustand, dass sie erneuert werden müssten (siehe Bild 46).

Hauptgrund für den schlechten Zustand der Wärmeversorgungssysteme ist das immer noch währende finanzielle Defizit, welches auch zur Perspektivlosigkeit im Bereich der Entwicklung und Ausführung alternativer Wärmesysteme führt.



Bild 46 Rohrnetz in Ust-Kamenogorsk

Die Wärmeverteilung in den Gebäuden erfolgt hauptsächlich über Einrohrheizungen. Dabei werden die Heizkörper in den Wohnungen in einer Ringleitung mit Warmwasser durchströmt.

Der Wasserumlauf erfolgt durch eine unregelte Umwälzpumpe. Da während der Heizperiode alle Rohrleitungen ständig vom Heizwasser durchströmt werden, tritt während dieses Zeitraumes ununterbrochen eine Wärmeabgabe auf. Bei einer zu hoch gewählten Vorlauftemperatur kann allein durch die Wärmeabgabe der Rohrleitungen der gesamte Wärmebedarf des Gebäudes gedeckt werden. Eine Regelung der Raumtemperatur über Thermostatventile oder einer witterungsgeführten Vorlauftemperatur ist in der Regel nicht vorhanden (siehe Bild 47).



Bild 47 Technische Ausstattung von Wohn- und Verwaltungsbauten
(Heizkörper, Übergabestation)

6 Simulation der Referenzgebäude

6.1 Definition der Referenzgebäude in Ust-Kamenogorsk

Um mit der Simulation hinsichtlich des Energiebedarfs mit vorgesehener Anlagentechnik für eine zentral bzw. dezentral Wärmeversorgte neue Siedlung in Ust-Kamenogorsk beginnen zu können, werden vorerst zwei Referenzgebäude ausgewählt:

- ein für das Gebiet der ehemaligen Sowjetunion typisches Wohngebäude
- ein für das Gebiet der ehemaligen Sowjetunion typisches Bürogebäude

Die neue Siedlung „KSchT“ umfasst 5 Bauabschnitte mit jeweils 26 Gebäuden (siehe Bild 48) .

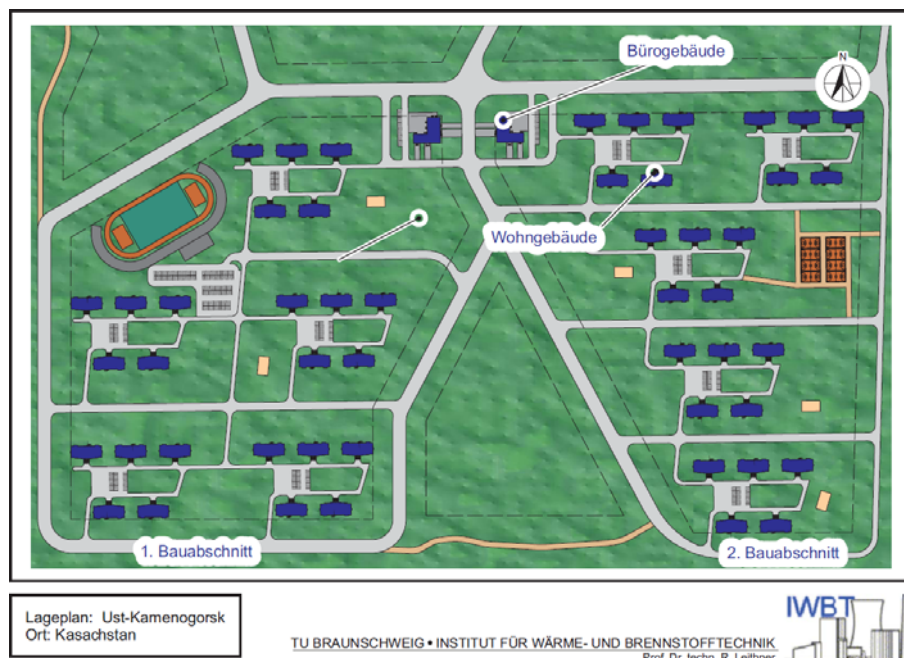


Bild 48 Lageplan der Siedlung „KSch“ in Ust-Kamenogorsk

Davon werden pro Bauabschnitt 25 Gebäude als Wohngebäude (Mehrfamilienhaus) und ein Gebäude als Bürogebäude ausgeführt (siehe Bild 48). In der Arbeit wird nur ein Bauabschnitt versorgungstechnisch berücksichtigt. Die Ergebnisse können aufgrund der baugleichen Ausführung auf die anderen Bauabschnitte projiziert werden.

Die Gebäude unterliegen dem in Deutschland gültigen Wärmeschutzstandard (EnEV) und die eingesetzte Anlagentechnik entspricht ebenfalls dem Stand der Technik Deutschlands.

6.1.1 Gebäude Typ 1 - typisches Mehrfamilienhaus

Das Mehrfamilienhaus mit einer Bruttogrundfläche von etwa 650 m² ist unterkellert und besitzt zehn Vollgeschosse. In acht Vollgeschossen sind Wohnungen verschiedener Größe untergebracht. Im Erdgeschoss (EG) befinden sich eine große Eingangshalle mit einigen Geschäften und Räume mit versorgungstechnischen Anlagen.

Begründet durch die Fertigbauweise haben alle Geschosse einen gleichen Aufbau. Ausnahmen sind hierbei das Erdgeschoss und das oberste Geschoss (9.OG), in denen sich die Lüftungszentrale und andere technische Räume befinden (siehe Bild 49). [Tleukeng]



Bild 49 links: Gebäude im Bau mit freiliegender Wärmedämmung
rechts: Gebäudetyp 1 Nordfassade des Gebäudes mit Haupteingang [Tleukeng]

In Bild 50 ist die freiliegende Mineralwolle zu erkennen, da die Fassadenverkleidung noch nicht vollständig angebracht ist.

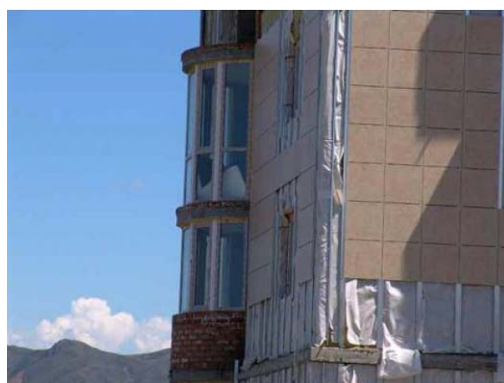
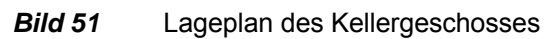


Bild 50 Gebäude im Bau mit freiliegender Wärmedämmung [Tleukeng]

Die Einteilung des „Multi-Zonemodells“ erfolgt als 3-Zonen-Modell:

- Die der Simulation zugrunde liegenden Geschoss-Lagepläne sind in den folgenden Abbildungen dargestellt (Bild 51, Bild 52 und Bild 53).



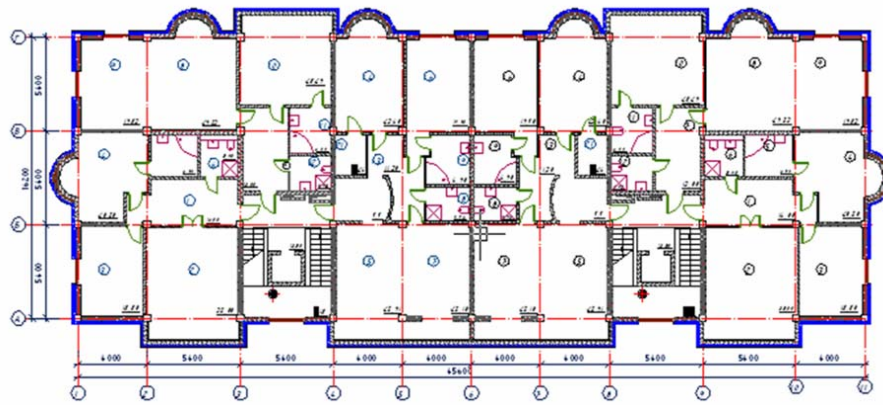


Bild 53 Lageplan der Wohngeschosse

Durch die Ausrichtung der Gebäude nach Süden bzw. nach Norden ergeben sich im Hinblick auf den Energieverbrauch zwei Gebäudetypen, Typ A und Typ B (Bild 54).

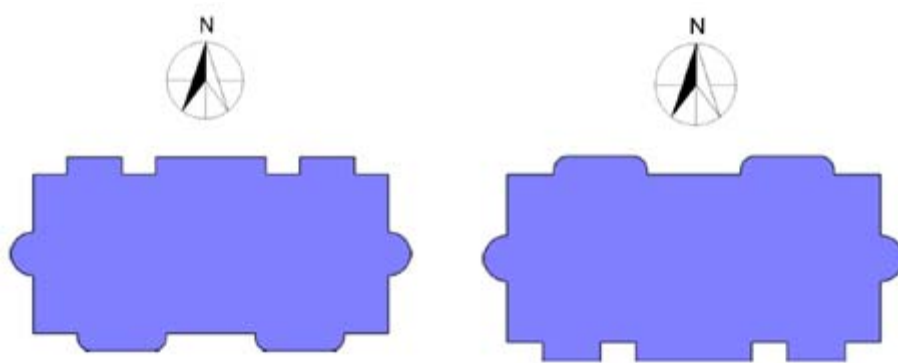


Bild 54 links: Gebäude Typ A, Ausrichtung der Frontfassade nach Süden
rechts: Gebäude Typ B, Ausrichtung der Frontfassade nach Norden

Gebäude Typ A steht für Gebäude, die mit ihrer Gebäuderückseite nach Norden und Gebäude Typ B steht für Gebäude, die mit ihrer Frontseite nach Norden ausgerichtet sind.

Die aus der Berechnung resultierenden Energieverbräuche für beide Gebäudetypen ergeben, dass sich diese nur geringfügig voneinander unterscheiden. Die Werte werden gemittelt und anschließend auf die gesamte Siedlung mit insgesamt 25 Wohngebäuden projiziert.

6.1.2 Gebäude Typ 2 - typisches Bürogebäude

Das zu untersuchende Bürogebäude mit einer Bruttogrundfläche von etwa 985 m² wird in Stahlbetonskelett- Fertigbauweise mit einem flachgeneigtem Dach ausgeführt, siehe Bild 55.



Bild 55 links: Gebäudetyp 2, nordöstliche Ansicht des Gebäudes
rechts: Sicht auf Haupteingang

Das betrachtete Gebäude ist nicht unterkellert und besitzt drei Vollgeschosse. In den beiden Obergeschossen sind für 165 Mitarbeiter Büroräume verschiedener Größe untergebracht. Im Erdgeschoss (EG) befinden sich die Lüftungszentrale und andere technische Räume.

Das Bürogebäude wird als „Multi-Zonemodell“ und als „Einzonemodell“ modelliert, simuliert und miteinander verglichen.

Die Einteilung des „Multi-Zonemodells“ erfolgt als 2-Zonen-Modell:

- Zone 1 - Erdgeschoss, 1.Obergeschoss, 2.Obergeschoss;
- Zone 2 - Dachgeschoss.

Die der Simulation zugrunde liegenden Geschoss-Lagepläne sind in den folgenden Abbildungen erkennbar (siehe Bild 56 und Bild 57).

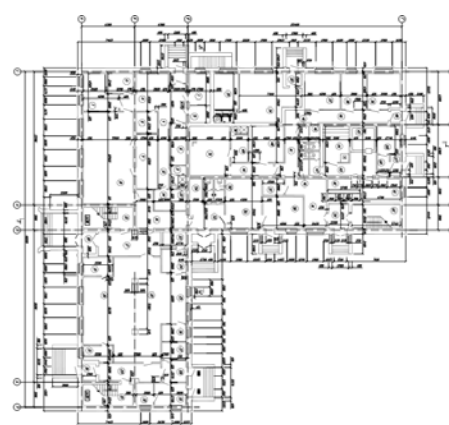
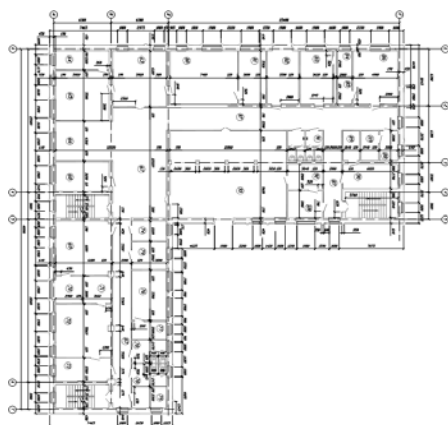


Bild 56 links: Lageplan des Erdgeschosses
rechts: Lageplan des 1.Obergeschosses [Projekt]

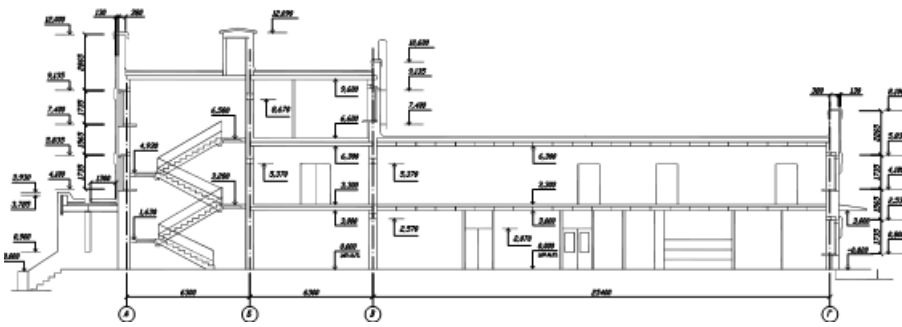


Bild 57 Seitenansicht des Gebäudes [Projekt]

6.2 Beschreibung des Simulationsprogramms TRNSYS

Zur Entwicklung einer geeigneten Systemkonfiguration sowie von Regelungsstrategien zur Herstellung eines thermisch behaglichen Raumklimas bei gleichzeitiger Minimierung des Brennstoffeinsatzes erfolgt die Abbildung des untersuchten Gebäudes in einem dynamischen Simulationsprogramm. Voraussetzung für die detaillierte Abbildung, insbesondere der Anlagentechnik ist ein modularer Aufbau des Gesamtmodells. Hierdurch können durch Variation von Parametern verschiedene Anlagenvarianten hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Systemverhalten überprüft werden [TRANSSOLAR].

Zur Gebäudesimulation wurde das Programmpaket TRNSYS 15 (Version 4.0) für Microsoft Windows XP verwendet. Dieses Programmpaket wurde von der Firma TRANSSOLAR Energietechnik GmbH entwickelt und vertrieben. Das Programm ermöglicht die detailgetreue Simulation des Verhaltens von Solarenergiesystemen und Systemen zur rationellen Energienutzung [TRANSSOLAR].

TRNSYS zeichnet sich insbesondere durch folgende Punkte aus:

- Ein- und Mehrzonengebäudemodell mit integrierten Modellen für thermoaktive Bauteile
- große Standard-Komponentenbibliothek
- gekoppelte Simulation des Gebäudes und der Anlagentechnik

Bild 58 verdeutlicht den modularen Aufbau in der dynamischen Gebäudesimulation.

Das TRNSYS- Programmpaket besteht im Wesentlichen aus dem Programm „PREBID“ zur Gebäudesimulation und dem Programm „IISiBat“ zur Anlagensimulation. Beide Programme werden im Folgenden einführend beschrieben.

Bei PREBID handelt es sich um eine Schnittstelle zur Erstellung von Gebäudemodellen des Typs 56 (Multizonen Modell).

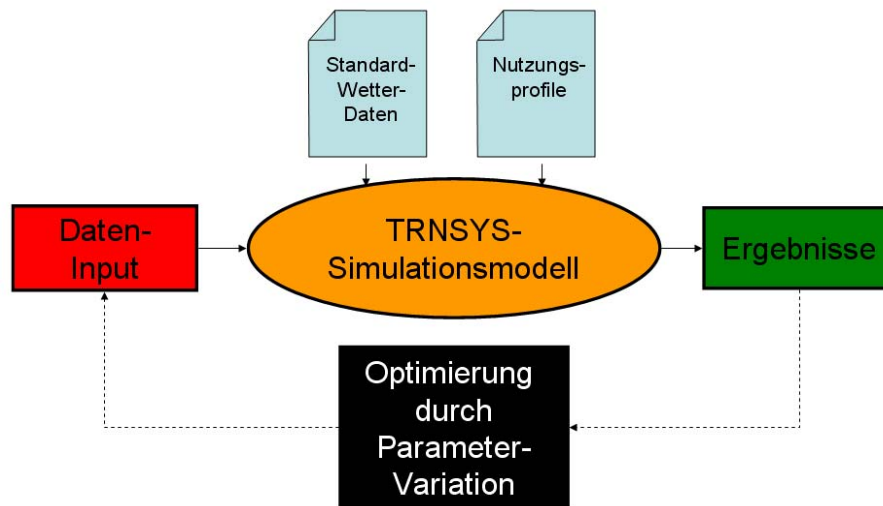


Bild 58 Ablauf der Simulation

Hierbei ist es möglich, eine dynamische Simulation mit:

- beliebig vielen thermischen Zonen
- beliebig vielen Wänden bzw. Fenstern mit beliebigem Aufbau (durch Nutzung der Bibliotheken gängiger Verglasungen und Baustoffe)
- thermoaktiven Bauteilen
- variablen internen konvektiven und radiativen Wärmelasten (z.B. Personen, Kunstlicht, Geräte)
- außen- und /oder innen liegendem Sonnenschutz
- natürlicher und mechanischer Lüftung
- integrierter Luftheizung und -kühlung
- Feuchte- Berechnung
- intelligenten Regelstrategien für Sonnenschutz, Lüftung, Heizung und Kühlung
- Komfortbewertung nach DIN EN ISO 7730

- Nutzerdefinierten Zeitschrittweiten der Simulation
- Wetterdaten im Standarddatenformat und freiem Format
- großer Anzahl an möglichen Ausgabegrößen (z.B. Luft- und Oberflächentemperaturen, Leistungen und Energiemengen) durchzuführen.

In PREBID werden automatisch drei Dateien erstellt: - eine *.BLD- Datei - welche eine Beschreibung des Gebäudes (Geometriedaten) und eine *.TRN-Datei - die Übertragungsfunktionen der Wände (Transferfunktionen) enthalten. Die dritte Datei *.INF- Datei beinhaltet Informationen über die INPUTS (z.B. Umgebungstemperatur, Strahlungsdaten) und OUTPUTS (z.B. Zonentemperatur, Heizwärmebedarf)

Um die angegebenen Parameter des Gebäudes überprüfen zu können, wird außerdem eine *.BUI- Datei in lesbarem ASCII-Format erstellt [TRANSSOLAR].

Der maximale Heizwärmebedarf des Gebäudes wird bei der Simulation mit stationären Randbedingungen nach DIN 4701 berechnet. Die Ergebnisse der Simulation werden graphisch abgebildet.

Die Abkürzung IISiBat wird aus dem Französischen folgendermaßen übersetzt: "Die intelligente Schnittstelle für Gebäudesimulation". Das ist ein allgemeines Simulationsprogramm, welches in die [TRNSYS] integriert ist. Wegen seiner flexiblen Eigenschaften können viele leistungsstarke Tools und Programme in IISiBat integriert werden. Dieses komplette Simulationspaket mit Simulationsprogrammen, graphischer Oberfläche, graphischer Darstellung von Ergebnissen und Tabellenkalkulationssoftware ist relativ einfach zu nutzen. Diese Version wurde speziell für Microsoft Windows entwickelt.

In der Simulation von Ein- oder Mehrzonengebäudemodellen mit IISiBat ist es möglich, den Einfluss von unterschiedlichen Wetterdaten auf den Wärme- und Kühlbedarf aufzuzeigen. Die genaue Beschreibung der Komponenteneigenschaften durch „PROFORMA“ gestaltet den Modellaufbau einfacher. Die Vielfältigkeit der Komponenten in der Programmbibliothek macht den unterschiedlichen Modellaufbau möglich. Die Komponenten können miteinander gekoppelt werden: eine Ausgangsgröße einer Komponente ist die Eingangsgröße einer anderen Komponente.

6.3 Modellbeschreibung in PREBID

Der Aufbau der Gebäudehülle erfolgt gemäß der Norm [DIN 4108].

Allgemeine Werte. Im Folgenden werden die ermittelten Kenndaten des Gebäudes dargestellt. Alle ermittelten und verwendeten Daten sind in einem speziellen Exceldatenblatt zusammengefasst.

In der nachfolgenden Tabelle 7 sind die ermittelten Außenwandflächen des Gebäudes aufgeführt. Es wird unterteilt nach Fenster- und Türflächen, Flächen, bestehend aus Mauerwerk (Ziegel) und Flächen, die aus Beton erstellt wurden. Alle Werte wurden den Bestandplänen entnommen und nach Etage und Himmelsrichtung sortiert.

Parameter	Wert	Einheit	Parameter	Wert	Einheit
Orientierung des Gebäudes	Haupeingang nach Norden (Fassade)		Orientierung des Gebäudes	Haupeingang nach Norden (Fassade)	
Nomenklatur	Zone 1 Kellergeschoss Zone 2 8 identische Wohngeschosse Zone 3 EG (50%) und 9. OG		Nomenklatur	Zone 1 1. und 2. Obergeschoss (Büros) Zone 2 EG	
Zonenfläche	Zone 1 648 Zone 2 6.422 Zone 3 1.380	m ² m ² m ²	Zonenfläche	Zone 1 2.472 Zone 2 984	m ² m ²
Zonenhöhe	Zone 1 2,20 Zone 2 2,90 Zone 3 3,60	m m m	Zonenhöhe	Zone 1 2,90 Zone 2 2,50	m m
Zonengesamtvolumen	Zone 1 971 Zone 2 18.625 Zone 3 4.968	m ³ m ³ m ³	Zonengesamtvolumen	Zone 1 7.169 Zone 2 1.476	m ³ m ³
Temperatur der Zone	Zone 1 10 Zone 2 20 Zone 3 10	°C °C °C	Temperatur der Zone	Zone 1 20 Zone 2 10	°C °C
rel. Zonenfeuchtigkeit	Zone 1 55 Zone 2 55 Zone 3 55	% % %	rel. Zonenfeuchtigkeit	Zone 1 55 Zone 2 55	% %

Tabelle 7 links: allgemeine Gebäudedaten Mehrfamilienhaus
rechts: allgemeine Gebäudedaten Bürogebäude

Wie oben bereits erwähnt, bietet das Programm PREBID die Möglichkeit, ein Gebäude in mehrere Zonen zu unterteilen. Im Bearbeitungsfall sind drei Zonen für das Mehrfamilienhaus und zwei Zonen für die Bürogebäude sinnvoll.

Die Größe der Flächen und die Geschosshöhen jeder Zone des Mehrfamilienhauses und des Bürogebäudes werden den vorliegenden Lageplänen entnommen. Die Geschosshöhen

der Wohnungen des Mehrfamilienhauses und der Büroetagen des Bürogebäudes sind identisch. Die Temperaturen für die beheizten und unbeheizten Bereiche werden der Deutschen Norm [DIN EN 12831] (Anhang V-1) entnommen. Für die beheizten Räume werden 20 °C und für die unbeheizten Räume 10 °C vorgesehen. Der Sollwert der relative Luftfeuchtigkeit, der der kasachischen Norm entnommen ist, beträgt 55 %.

Wände: PREBIT bietet die Möglichkeit, den Aufbau der Wände je nach Zone zu definieren. Für die Simulation wird die Fläche der Außen- und Innenwände den Lageplänen entnommen. Der Aufbau der Wände ist im Anhang (Tabellen A1 und A2) dargestellt.

Fenster: Außenfenster stellen einen prozentualen Anteil der Außenfassade dar. Sie werden in Fenster verschiedener Größe unterteilt und je nach Dämmstandard mit Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werten) definiert. Die Fenstergröße wird den Lageplänen entnommen.

Der U-Wert für ein Fenster wird wie folgt berechnet:

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + I_g \cdot \psi_g}{A_g + A_f} \quad \text{Gl. (4)}$$

U_w - der Wärmedurchgangskoeffizient des betrachtenden Fensters,

A_g - die Fläche der Verglasung,

U_g - der Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung,

A_f - die Fläche des Rahmens,

U_f - der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens,

I_g - die sichtbare Länge des Randverbundes und

ψ_g - der lineare Wärmedurchgangskoeffizient des Abstandhalters

Bei der Auswahl der Fenster des Mehrfamilienhauses und Bürogebäudes soll der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) von 1,7 W/m²K nach [EnEV] eingehalten werden. Es besteht in PREBIT die Möglichkeit, den Wärmedurchgangskoeffizienten in Abhängigkeit vom Wärmeübertragungskoeffizienten (α) zu gestalten und nicht nur als konstanten Wert einzusetzen. Die Aktivierung des Wärmeübertragungskoeffizienten berücksichtigt den Windeinfluss auf die Fassadelemente wie Außenwand, die Außenseite der Fenster und die Geschossplatte. In der Simulation wird der Wärmeübertragungskoeffizient (α) aktiviert.

Türen: Eine Tür wird in PREBIT wie eine Wand definiert. Genauso wie bei einer Wand wird auch hier zwischen einer Außen- und Innentür unterschieden.

Die Eingabe der Türgrößen und -stärken erfolgt aufgrund der vorhandenen Vielfalt vereinfacht und wird auf jeweils drei Typen für Außen- und Innentüren beschränkt.

Außentüren

- Eingangstür (Einzeltür (1,01x2,1)
- Eingangstür (Doppeltür (1,51x2,1)
- Eingangstür (Doppeltür (1,5x2,1)

Innentüren

- Innentür (Einzeltür (1,01x2,1)
- Innentür (Einzeltür (1,0x2,1)
- Dünntür (Einzeltür (0,5x2,1)

Boden- und Deckenplatte: Auch der Boden- bzw. die Deckenplatten werden in PREBID als Wand betrachtet.

In dieser Gebäudesimulation werden drei verschiedene Typen von Boden- bzw. Deckenplatten eingesetzt.

Bodenplatte (BODENPLATTE). Die Bodenplatte berührt über die gesamte Fläche das Erdreich. Der U-Wert der Bodenplatte muss den [EnEV] genügen. Die Bodenplatte kommt nur in der Zone 1 zum Tragen. Um den Einfluss von außen zu berücksichtigen, wird die Temperatur des Erdreichs als Eingangsgröße in PREBID definiert.

Bodenplatte (BODENDECKE). Diese Art von Bodenplatte hat eine Doppelfunktion - sie fungiert als Decken- und Bodenplatte für einen Raum zwischen zwei Geschossen und wird als Innenwand definiert.

Deckenplatte (GESCHOSSDECKE). Darunter wird die Gebäudedecke verstanden. Sie gehört zur Gebäudehülle und wird als Außenwand definiert. Hier wird der Einfluss der Außentemperatur durch „α- außen“ beschrieben. Für „View to the sky“ wird ein Wert von 1 eingesetzt (horizontale Ebene). Für „Geosurf“ wird 0,1 eingesetzt.

Im Anhang (Tabelle A5 bis Tabelle A9) sind die benötigten U-Werte, sowie die Rechnungsergebnisse aufgeführt.

Heizung: Das Programm PREBID erlaubt es, den Wärmebedarf eines Gebäudes zu berechnen. Jedoch hängt dieser von:

- den Klimadaten des Standortes
- der Wärmedämmung des Gebäudes
- der gewünschten Raumlufthtemperatur
- dem Benutzerverhalten (Warmwasserbereitung, Überhitzung der Wohnung...) ab.

Es scheint schwierig zu sein, die Leistung der Heizungsanlage vor der Simulation zu schätzen. Um dieses Problem zu umzugehen, wird in PREBID ein „Trick“ angewandt: mit der maximal auftretenden Außentemperatur (-38°C) wird die Spitzenheizlast bestimmt und damit das größtmögliche Heizungsvermögen der Heizungsanlage bestimmt. Damit sind die gewünschte Temperatur im Gebäude und die anderen Anforderungen gewährleistet, ohne dass ein großer Aufwand für die „Vordimensionierung“ der Anlage betrieben werden muss.

Bei der Programmierung wird eine Nachtabstaltung der Anlage berücksichtigt, um eine Reduzierung des Energieverbrauchs zu erreichen. Die Raumlufthtemperatur während der Tageszeit beträgt in beiden Gebäuden 20°C und bei Nachtabstaltung 18 °C.

Die Zonen 1 und 3 im MFH (Technik-Zentralen) gelten als unbeheizte Zonen und müssen mindestens auf eine Raumtemperatur von 10°C beheizt werden. Wird in PREBID die Heizung in diesen Zonen deaktiviert, ergibt sich aus den Simulationsergebnissen, dass die erforderliche Temperatur nicht über das gesamte Jahr gewährleistet ist. Im Winter würde die Raumtemperatur unter 10°C sinken. Infolgedessen muss die Heizung in den „unbeheizten“ Zonen immer aktiv sein.

Gleiches gilt für die unbeheizte Zone 2 des Bürogebäudes. Dort halten sich meistens keine Personen auf. Trotzdem muss eine Heizung installiert werden, damit bei extrem niedrigen Außentemperaturen die Innentemperatur von 10°C nicht unterschritten wird.

Kühlung: Damit auch in der heißen Jahreszeit die Arbeits- und Lebensbedingungen im Gebäude eingehalten werden, bietet PREBID für jede Zone eine Kühlungsmöglichkeit an, die sich nach den einzuhaltenden Randbedingungen der Zonen richtet.

Für das Bürogebäude ist es wirtschaftlich sinnvoll, nur in Büroräumen eine Kühlungsanlage zu implementieren.

Die maximale Leistung der Kühlungsanlage wird ebenfalls nach dem „Trick-Verfahren“ ermittelt. Nach der Eingabe der maximal auftretenden Außentemperatur von 38 °C werden die Spitzenkühllast und damit das maximale Kühlungsvermögen der Anlage ermittelt. Somit soll in der warmen bzw. heißen Jahreszeit die gewünschte Raumtemperatur garantiert werden.

Lüftung: Die Energieeinsparverordnung erfordert die Sicherstellung eines so genannten Mindestluftwechsels, damit „verbrauchte“ Raumluft durch „frische“ ausgetauscht werden kann. Ein definierter Luftwechsel ist erforderlich für:

- die Zufuhr von Frischluft für Personen,
- die Abfuhr von Schadstoffen und Nutzungsbedingten Gerüchen und
- die Abfuhr von nutzungsbedingter sowie neubaubedingter Feuchtigkeit.

Die unkontrollierte Lüftung wird in PREBID über INFILTRATION beschrieben. Für unterschiedlich genutzte Zonen werden verschiedene Luftwechsel definiert.

In dieser Simulation wird für alle Zonen des Bürogebäudes ein Mindestluftwechsel $n_{\min.} = 1,0 \text{ h}^{-1}$ und für das Wohngebäude $n_{\min.} = 0,7 \text{ h}^{-1}$ festgelegt.

Die kontrollierte Lüftung wird über die Temperatur der eingebrachten Luft, den Luftwechsel und die Feuchte der eingebrachten Luft definiert. Dafür wird in PREBID „Ventilation“ aktiviert. Oft ist der Luftwechsel in einer Zone von mehreren anderen Parametern abhängig und wird dann als Eingangsgröße definiert. Die Temperatur und die Feuchte der eingebrachten Luft bei freier Lüftung entsprechen den Außenluftbedingungen.

Für die kontrollierte Lüftung ist die Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und Außentemperaturunterschied relevant.

Interne Gewinne: Die internen Gewinne werden in PREBID durch vier Anteile erfasst:

- Personen,
- Bürospezifische Geräte (z.B. Computer und Drucker),
- künstliche Beleuchtung und
- andere interne Gewinne.

Zur Angabe der Personen hat PREBID zwei Möglichkeiten der Eingabe - nach der [DIN EN ISO 7730] und nach der [VDI-2078]. In der Arbeit wird für beide Gebäude die [VDI 2078] zugrunde gelegt. Der Aktivitätsgrad der Personen wird mit 1 bis 2 (körperlich nicht tätig bis

leichte Arbeit im Stehen) bei einer Innentemperatur von 20 °C festgelegt. Die Anzahl der Mitarbeiter und die Fläche mit 15 m² pro Person im Bürogebäude bestimmen sich aus Erfahrungswerten. Im Mehrfamilienhaus werden 42,9 m² Wohnfläche für eine Person vorgesehen. Die Berechnung ergibt 165 Mitarbeiter im Bürogebäude und 134 Bewohner für das Mehrfamilienhaus.

Da sich die Bewohner nicht durchgehend in ihren Wohnungen aufhalten, muss ein Belegungsprofil erstellt werden. Solche Anforderungsprofile werden vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie zur Verfügung gestellt. In diesem Fall wird das Anforderungsprofil „Biomassefeuerungen zur Wärmeversorgung von Objekten“ verwendet.

Das Profil ist in den nachfolgenden Tabellen (Tabelle 8) für Wochenend- und für Wochentage dargestellt.

Stundenprofil	Werktag		Wochenende	
	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl
00:00 → 01:00	100.0%	216	96.6%	209
01:00 → 02:00	100.0%	216	96.6%	209
02:00 → 03:00	100.0%	216	96.6%	209
03:00 → 04:00	100.0%	216	100.0%	216
04:00 → 05:00	100.0%	216	100.0%	216
05:00 → 06:00	100.0%	216	96.6%	209
06:00 → 07:00	86.2%	186	82.8%	179
07:00 → 08:00	62.1%	134	72.4%	156
08:00 → 09:00	48.3%	104	65.5%	142
09:00 → 10:00	17.2%	37	55.2%	119
10:00 → 11:00	20.7%	45	44.8%	97
11:00 → 12:00	17.2%	37	31.0%	67
12:00 → 13:00	34.5%	74	58.6%	127
13:00 → 14:00	51.7%	112	65.5%	142
14:00 → 15:00	34.5%	74	55.2%	119
15:00 → 16:00	37.9%	82	48.3%	104
16:00 → 17:00	34.5%	74	44.8%	97
17:00 → 18:00	44.8%	97	48.3%	104
18:00 → 19:00	48.3%	104	48.3%	104
19:00 → 20:00	69.0%	149	51.7%	112
20:00 → 21:00	86.2%	186	69.0%	149
21:00 → 22:00	86.2%	186	75.9%	164
22:00 → 23:00	86.2%	186	79.3%	171
23:00 → 24:00	100.0%	216	96.6%	209

Stundenprofil	Werktag		Wochenende	
	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl
00:00 → 01:00	2.00	3	2.00	3
01:00 → 02:00	2.00	3	2.00	3
02:00 → 03:00	2.00	3	2.00	3
03:00 → 04:00	2.00	3	2.00	3
04:00 → 05:00	2.00	3	2.00	3
05:00 → 06:00	2.00	3	2.00	3
06:00 → 07:00	7.00	12	2.00	3
07:00 → 08:00	28.00	46	2.00	3
08:00 → 09:00	85.00	140	2.00	3
09:00 → 10:00	88.00	145	2.00	3
10:00 → 11:00	90.00	149	2.00	3
11:00 → 12:00	90.00	149	2.00	3
12:00 → 13:00	90.00	149	2.00	3
13:00 → 14:00	89.00	147	2.00	3
14:00 → 15:00	85.00	140	2.00	3
15:00 → 16:00	65.00	107	2.00	3
16:00 → 17:00	50.00	83	2.00	3
17:00 → 18:00	35.00	58	2.00	3
18:00 → 19:00	20.00	33	2.00	3
19:00 → 20:00	9.00	15	2.00	3
20:00 → 21:00	2.00	3	2.00	3
21:00 → 22:00	2.00	3	2.00	3
22:00 → 23:00	2.00	3	2.00	3
23:00 → 24:00	2.00	3	2.00	3

Tabelle 8 links: Anwesenheit der Personen im Mehrfamilienhaus,
rechts: Anwesenheit der Personen im Bürogebäude

6.4 Wärmeschutzstandard für Referenzgebäude

Die Referenzgebäudeausführung erfolgt in zwei Wärmeschutzdämmstandards (EnEV und EnEV-30 %) und anschließend werden die erforderliche Heizlast, der Wärme- und Kühlbedarf ermittelt. Der energetische Bedarf wird mit den simulierten Ergebnissen eines Wohn- und Bürogebäudes im Bestand verglichen.

Nachfolgendes Bild 59 zeigt die Gegenüberstellung der U-Werte für ein Wohn- und Bürogebäude im Bestand, in der „EnEV“- und „EnEV-30 %“- Ausführung:

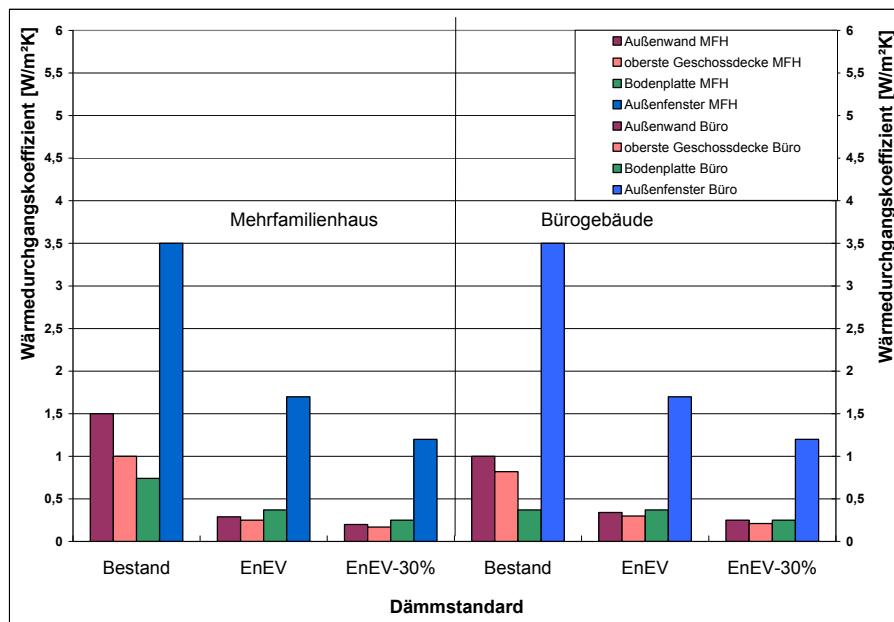


Bild 59 U-Werte $W/(m^2 \cdot K)$ für ein Wohn- und Bürogebäude im Bestand, in der EnEV- und EnEV-30 %-Ausführung

Wärmeschutzstandard - Energieeinsparverordnung (EnEV): Eine Beschreibung dieses Standards erfolgte in vorherigem Kapitel „Baulicher Wärmeschutz von Gebäuden in Deutschland und Ust-Kamenogorsk“. Der so ermittelte Aufbau der jeweiligen Gebäude Hüllflächen dient zur Berechnung der U-Werte der Bauteile. Die Werte für die Wärmeleitfähigkeit der verwendeten Baustoffe werden jeweils aus der Literatur übernommen.

Wärmeschutzstandard - Energieeinsparverordnung (EnEV – 30 %): Unter diesem, ebenfalls für die vorliegende Arbeit generierten Standards wird die Verringerung des U-Wertes um 30 % von der Mindestanforderung nach EnEV verstanden.

6.5 Simulationsergebnisse (TRNSYS)

Eine Simulation mit TRNSYS hinsichtlich des Wärme- und Kühlbedarfs für Kasachstan (Standort: Ust- Kamenogorsk) und für Deutschland (Standort: Würzburg) mit hinterlegten, den Standort entsprechenden Wetterdaten, erfolgt für die in PREBID aufgebauten Gebäude-Modelle nach [DIN 4701]. Die Simulation für den Standort Deutschland war erforderlich, damit die Simulationsergebnisse mit den für Deutschland bekannten Erfahrungswerten für Gebäude mit gleichem Dämmstandard verglichen und somit die Richtigkeit des Simulationsaufbaus bestätigt werden konnte.

Die Simulation nach [DIN 4701] berechnet den maximalen Heizwärmebedarf unter folgenden Randbedingungen:

- die minimale Außentemperatur (Ust-Kamenogorsk $t_{\min} = -38\text{ °C}$, Würzburg $t_{\min} = -14\text{ °C}$)
- die Innentemperatur für die Büroräume und Wohnräume $t_{\text{in B}} = 20\text{ °C}$
- die den Mindest- Luftwechsel $n = 0,7\text{ h}^{-1}$ bzw. $n = 1,0\text{ h}^{-1}$
- die Simulationszeit $Z = 8.760\text{ h}$ pro Jahr

Die Ergebnisse der Simulation sind graphisch sowie tabellarisch sichtbar und werden in einer temporären Datei (*4701.prt) gespeichert.

Heizlast, Wärme- und Kühlbedarf

Mit Hilfe einer thermischen Simulation werden für die Referenzgebäude in Ust-Kamenogorsk der Primärenergiebedarf, die maximale Heizlast (Spitzenlast) und der erforderliche Wärme- und Kühlbedarf mit hinterlegten Wetterdaten ermittelt. Anschließend werden die Ergebnisse auf einen Bauabschnitt und danach auf die gesamte Siedlung extrapoliert.

Folgende Ergebnisse sind der Simulation entnehmbar :

- Transmissionswärmeverluste
- Lüftungswärmeverluste
- Interne Gewinne
- Nutzbare solare Gewinne
- Norm-Heizlast

6.5.1 Jahres-Heizwärmebedarf

„Der Jahres-Heizwärmebedarf gibt die Energie an, die einem Gebäude über eine Heizungsanlage zusätzlich zugeführt werden muss, damit eine bestimmte mittlere Raumtemperatur während der Heizperiode nicht unterschritten wird“ [Liersch].

D.h., in einem Jahresheizwärmebedarf werden alle Energieströme innerhalb eines Gebäudes berücksichtigt (siehe Bild 60).

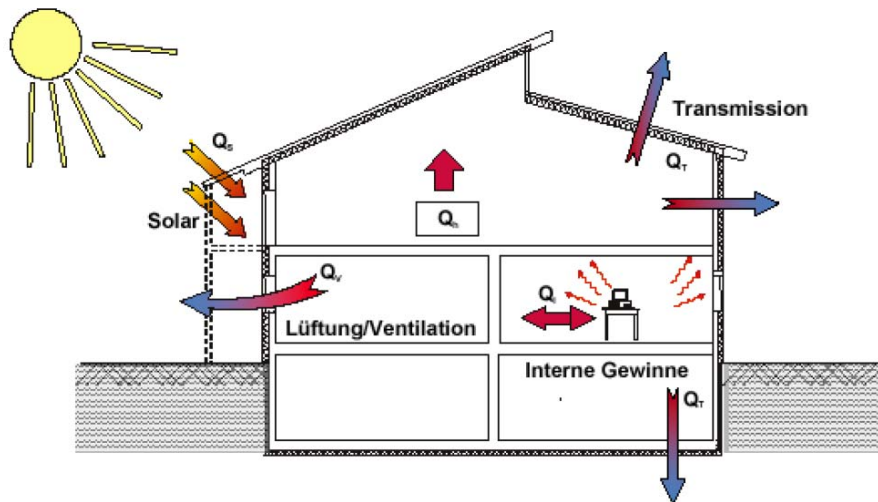


Bild 60 Energiebilanz eines Gebäudes [IGS]

Heizwärmebedarf = Verluste - Gewinne

$$Q_h = Q_T + Q_V - (Q_S + Q_I) \cdot \eta \quad \text{Gl. (5)}$$

Q_h - Jahres-Heizwärmebedarf- Summe aus Wärmeverlusten und -gewinnen

Q_T - Transmissionswärmeverluste - beschreiben den Wärmestrom durch die Außenbauteile des Gebäudes je Kelvin Temperaturdifferenz.

Q_V - Lüftungswärmeverluste - entstehen hauptsächlich durch das Öffnen von Fenstern und Türen, hängen aber ganz allgemein von der Luftdichtigkeit des Gebäudes, der Windgeschwindigkeit und Windrichtung, der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen, sowie der Gebäudeform und einer eventuell vorhandenen Lüftungsanlage ab.

Q_S - solare Wärmegewinne - Energiemenge, die in das Bauwerk durch Fenster und sonstige Verglasungsbauteile oder transparente Wärmedämmungen gelangt. Diese hängen von der Größe der Fensterflächen, deren Gesamtenergiedurchlassgrad g , der spezifischen Strahlungsenergiekonstante I_s und verschiedenen Abminderungsfaktoren ab.

Q_I - Interne Wärmegewinne - hängen insbesondere von den vorhandenen inneren Wärmequellen ab (z.B. Personen, technische Ausstattung).

η - Nutzungsgrad - prozentualer Anteil der eingestrahlten Sonnenenergie und der internen Wärme, die für Heizzwecke genutzt werden können.

monatliche Wärmeverluste $Q_{l,M}$

Die monatlichen Wärmeverluste $Q_{l,M}$ ergeben sich aus dem spezifischen Wärmeverlust H_M , der sich aus der Summe der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste $Q_T + Q_V$ zusammensetzt:

$$Q_{l,M} = 0,024 \cdot H_M \cdot (t_i - t_{a,m}) \cdot d_M \quad \text{Gl. (6)}$$

0,024 in kWh = 1Wd

H_M - Spezifischer Wärmeverlust, W/K

$H_M = H_T + H_V$

t_i – Innenlufttemperatur, °C

$t_{a,m}$ - mittlere Außenlufttemperatur, °C

d_M - Anzahl der Tage des betreffenden Monats

Die spezifischen Transmissionswärmeverluste Q_T in W/K werden wie folgt bestimmt:

$$Q_T = \sum (F_{x,i} \cdot U_i \cdot A_{i,i}) + Q_{WB} \quad \text{Gl. (7)}$$

$F_{x,i}$ - Temperaturkorrekturfaktor

U_i - Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils i, W/(m²K)

A_i - Fläche des Bauteils, m²

Q_{WB} - pauschale Berücksichtigung der Wärmeverluste über die Wärmebrücken in W/K

Die Lüftungswärmeverluste Q_V werden nach folgender Gleichung berechnet:

$$Q_V = \rho_L \cdot C_{p,L} \cdot n \cdot V \quad \text{Gl. (8)}$$

$$\rho_L \cdot C_{p,L} = 0,34 \text{ Wh/(m}^3\text{K)}$$

$n = 1,0; 0,7 \text{ h}^{-1}$ bei freier Lüftung

V - Nettovolumen des Gebäudes [m³]

Wärmegewinne im Monatsmittel $Q_{g,M}$:

Die monatlichen Wärmegewinne $Q_{g,M}$ in kWh ergeben aus folgender Berechnungsvorschrift:

$$Q_{g,M} = 0,024 \cdot (\phi_{S,M} - \phi_{i,M}) \cdot t_M \quad \text{Gl. (9)}$$

$\phi_{S,M}$ - mittlerer monatlicher Strahlungswärmegewinn [W]

$\phi_{i,M}$ - mittlerer monatlicher interner Wärmegewinn [W]

Der mittlere monatliche Strahlungswärmegewinn berechnet sich wie folgt:

$$\phi_{S,M} = \sum_{j=1}^m I_{S,M,j} \cdot \sum_{i=1}^n F_{F,i} \cdot F_{S,i} \cdot F_{C,i} \cdot g_i \cdot A_i \quad \text{Gl. (10)}$$

$\sum I_{S,M,j}$ - mittlere monatliche Strahlungsintensität

$F_{F,i}$ - Abminderungsfaktor infolge des Fensterrahmens (0,7 im Normalfall),

$F_{S,i}$ - Verschattungsfaktor (0,9 gewählt)

$F_{C,i}$ - Abminderungsfaktor für den Sonnenschutz (1,0 für nicht permanenten Sonnenschutz)

g_i - wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad (0,589 gewählt)

A_i - Fensterfläche [m²]

i - Bauteil i

j - Bauteilorientierung (Nord, Ost, Süd, West)

Für die mittleren monatlichen internen Wärmegewinne gilt folgende Berechnungsvorschrift:

$$\phi_{i,M} = q_{i,M} \cdot A_M \quad \text{Gl. (11)}$$

$q_{i,M}$ - mittlere flächenbezogene interne Wärmeleistung [W/m]

A_B - Bezugsfläche [m²]

Nutzungsgrad η_M : Der Nutzungsgrad η_M der Wärmegewinne zur Beheizung eines Gebäudes hängt vom Wärmegewinn-/verlustverhältnis γ und von der Zeitkonstante τ des Gebäudes ab und lässt sich nach den folgenden Gleichungen bestimmen:

$\gamma = \frac{Q_g}{Q_l}$	$\eta = \frac{1 - \gamma}{1 - \gamma^{a+1}}$	$\eta = \frac{a}{a + 1}$
	für $\gamma \neq 1$	für $\gamma = 1$

γ - Wärmegewinn-/verlustverhältnis

a - numerischer Parameter

Der numerische Parameter a lässt sich bei der monatlichen Bilanzierung mit $a_0 = 1$ und $\tau_0 = 16$ wie folgt berechnen:

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0} \quad \text{Gl. (12)}$$

Die Zeitkonstante τ in der oberen Gleichung bestimmt sich aus:

$$\tau = \frac{C_{\text{wirk}}}{H} \quad \text{Gl. (13)}$$

C_{wirk} - wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile [Wh/K]

H - spezifischer Wärmeverlust [W/K]

Die folgende Gleichung berücksichtigt die Berechnung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit der Raumabschließenden Bauteile, so wie die auf die Tagstunden begrenzte Sonneneinstrahlung:

$$C_{\text{wirk}} = \sum (c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \cdot A_i) \quad \text{Gl. (14)}$$

c_i - Wärmespeicherfähigkeit des Materials der Schicht i [J/(kgK)]

ρ_i - Rohdichte des Materials der Schicht i [kg/m³]

d_i - Dicke der Schicht i [m]

A_i - Bauteilfläche der Schicht i [m²]

Hier wurde die Vereinfachung getroffen und der Einsatz für schwere Gebäude gewählt:

$$C_{\text{wirk}} = 50 \cdot W \cdot h / (m^3 \cdot K) \cdot V_e \quad \text{Gl. (15)}$$

Die Abweichungen liegen in folgenden Punkten begründet:

- pauschale Annahmen für einige Faktoren (C_{wirk} , H_{BW} usw.)
- globale Einstrahlungen aus den monatlichen Mittelwerten je Stunde werden für alle Ausrichtungen verwendet
- keine Berücksichtigung der Tageszeit für die internen Wärmegewinne

- kein Einfluss der tagesabhängigen Außen-/Innentemperaturdifferenz für die Berechnung der Lüftungswärmeverluste
- keine Berücksichtigung der Windgeschwindigkeit, des Tageslichtangebots und der Bodentemperatur

6.5.2 Primärenergiebedarf nach [DIN V 4108]

„Der Jahres-Primärenergiebedarf ist die Energiemenge, die zur Deckung des Jahres-Heizenergiebedarfs und des Warmwasserbedarfs (Trinkwasserbedarf) benötigt wird. Unter Verwendung der Aufwandzahl ε_p , die das Verhältnis von Aufwand zum erwünschten Nutzen der nach [DIN 4701-10] eingesetzten Anlagentechnik beschreibt, ergibt folgende Gleichung den primärenergetisch bewerteten Heizenergiebedarf (Primärenergiebedarf)“.

$$Q_p = (Q_h + Q_{ww}) \cdot \varepsilon_p \quad \text{Gl. (16)}$$

Q_p - Jahresprimärenergiebedarf

Q_h - Jahresheizwärmebedarf

Q_{ww} - Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung

ε_p - Anlagenaufwandzahl

Die Anlagentechnik, die in dem betrachteten Gebäude zum Einsatz kommt, wird durch die Anlagenaufwandzahl ε_p [DIN 4701-10] berücksichtigt.

Der Primärenergiebedarf für die Wärmedämmvarianten (Bestand, EnEV, EnEV-30%) wird über die Simulation und mit Excel berechnet. Des Weiteren wird der Jahres- Heizwärmebedarf nach dem „EnEV- Monatsbilanzverfahren“ (gültig für Wohngebäude) ermittelt. Die aufwändige Rechenmethode erlaubt es nicht, detailliert auf alle Rechenschritte einzugehen. Im Folgenden werden alle wichtigen Berechnungsvorschriften und Ergebnisse ohne Zwischenschritte aufgelistet.

6.5.3 Nutzungswärmebedarf zur Warmwasserbereitung

Für Wohngebäude wird der in der [EnEV] pauschal angenommene Nutzungswärmebedarf zur Warmwasserbereitung mit 12,5 kWh/(m²a) plus 6,1 kWh/m²a nicht nutzbare Verluste berücksichtigt. Der Wärmebedarf bezieht sich auf die Gebäudenutzfläche A_N .

Für Bürogebäude wird der Nutzwärmebedarf für die Warmwasser- Bereitung vernachlässigt, denn diese erfolgt dezentral durch elektrische Durchlauferhitzer.

6.5.4 Vorgehensweise zur Ermittlung des Wärme- und Kühlbedarfs

1. Zur Ermittlung der Transmissionswärmeverluste wurden die Gewinne durch Gains, die solaren Gewinne durch Strahlung und die Lüftungsverluste ausgeblendet. Erreicht wurde dies durch Deaktivierung der Lüftung und der Gains im Gebäudemodell sowie durch Abänderung der Wetterdaten (Strahlung wurde zu null gesetzt).

2. Zur Ermittlung der Lüftungswärmeverluste wurde zuerst der Heizwärmebedarf des Gebäudes ermittelt. Hierzu waren alle Optionen in der Simulation sowie im Gebäudemodell aktiviert. Nun wurde das Modell so abgeändert wie unter 1. beschrieben, zusätzlich wurde im Gebäudemodell die Lüftung aktiviert. Der nun ermittelte Wert stellt die Summe aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten dar. Durch die Subtraktion von dem Heizwärmebedarf (ohne Berücksichtigung der internen und solaren Gewinne) ergibt sich der Lüftungswärmeverlust.

3. Um die internen Gewinne ermitteln zu können, wurden die Gains im Gebäudemodell deaktiviert, alle anderen Optionen blieben aktiviert. Durch die Subtraktion mit dem bereits ermittelten Heizwärmebedarf ergaben sich die internen Gewinne.

4. Zur Ermittlung der nutzbaren solaren Gewinne wurden die Gains im Gebäudemodell deaktiviert, alle anderen Optionen blieben aktiviert. Durch die Subtraktion mit dem bereits unter 2 ermittelten Wert (Summe aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten) ergaben sich die nutzbaren solaren Gewinne.

5. Die Norm-Heizlast wurde auf zwei Arten bestimmt. Zum einen über das Programm PREBID, das die Funktion (nach DIN 4701) bereits implementiert hat zum anderen durch Manipulation der Wetterdaten. Hierbei wurde die Außenlufttemperatur über das ganze Jahr durch die Heizgrenztemperatur ersetzt. Der sich so ergebende Wert entsprach mit nur einer kleinen Abweichung (kleiner 1 %) dem mit PREBID ermittelten Wert.

Für die Untersuchung des Gebäudes in einer realistischen Umgebung wird eine dynamische Simulation durchgeführt. Neben den Gebäudehülle-Eigenschaften haben auch die Wetterdaten einen bedeutenden Einfluss auf den Jahres-Primärenergiebedarf. Der Modell-Aufbau in IISiBat ermöglicht das in PREBID aufgebaute Multizonen-Gebäudemodell in Abhängigkeit von den Klimabedingungen des betrachteten Ortes zu simulieren.

Die sich aus der dynamischen Simulation mit TRNSYS für das Mehrfamilienhaus und das Bürogebäude (verschiedene Dämmstände) resultierende Heiz- und Kühllast, sowie der Jahresheizwärme- und Kühlbedarf, ist in den nachfolgenden Bildern zusammengefasst.

Bild 61 zeigt die mit PREBID erzielten Simulationsergebnisse bezüglich der Heizlast für drei verschiedene Dämmstandards für den Standort Ust-Kamenogorsk. Dieses Diagramm verdeutlicht, wie eine Wärmedämmung die Heizlast beeinflusst. Um die Innentemperatur im Gebäude bei Spitzenlast aufrechterhalten zu können, ist bei dem EnEV- Gebäude ein Heizwärmebedarf von 183 kW (Bürogebäude) und von 503 kW (MFH) erforderlich. Bei dem Gebäude-Modell mit einer 30%-ig geringeren Wärmedämmung als nach EnEV vorgeschrieben, sinkt die Heizlast auf 172 kW (Bürogebäude) und auf 420 kW (MFH). Bei dem Bestandgebäude mit der Wärmedämmung nach [SNIP] ist eine maximale Heizleistung von 727 kW notwendig.

Der Vergleich mit den Erfahrungswerten aus Deutschland bestätigt die Richtigkeit des Modellaufbaus. Somit kann der Modellaufbau auch für die Simulation am Standort Ust-Kamenogorsk übernommen werden.

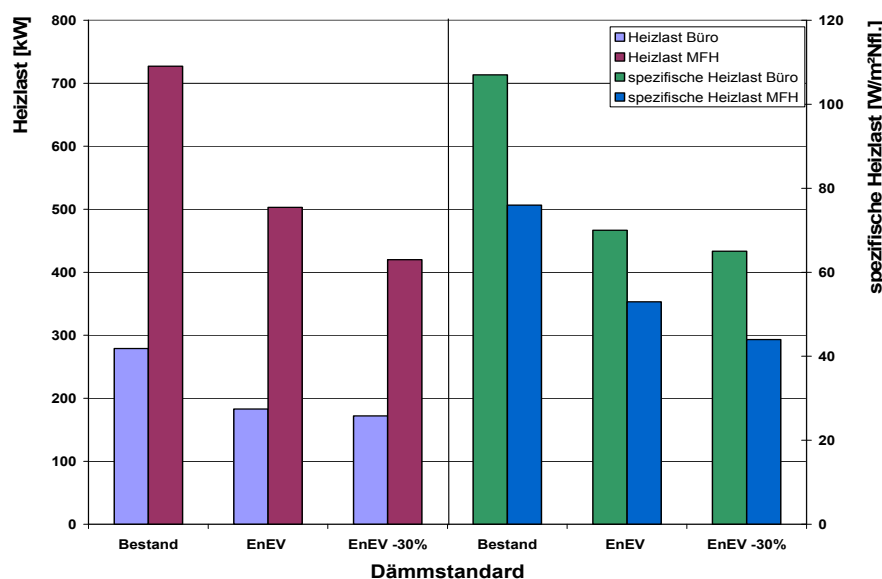


Bild 61 Übersicht der sich aus der Simulation für die unterschiedlichen Dämmstandards das Normheizlast im Auslegungsfall entspr. der [DIN 4701]

Der weitere Schritt war die dynamische Simulation des Gebäudes in IISiBat. Die jeweils vier Simulationen wurden wie oben beschriebenen durchgeführt.

In Bild 62 sind die Simulationsergebnisse des Heizwärmebedarfs für den Standort Kasachstan (Ust-Kamenogorsk) des EnEV- Gebäudes, des EnEV-30% und des Bestandgebäudes zusammengefasst. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang (Tabelle A10 und A11) dargestellt.

Die Auswertung der Ergebnisse verdeutlicht die Wichtigkeit bei der Auswahl der Baustoffe für die Gebäudehülle. Bei gleichen Wetterbedingungen ist der Jahres-Heizwärmebedarf des EnEV-30%-Modellgebäudes um 17,8 % (Bürogebäude) und um 13,6% (MFH) geringer als derjenige des EnEV- Gebäudes. Der Jahres-Heizwärmebedarf des Bestendgebäudes ist um 60 % (Bürogebäude) und um 61 % (MFH) größer als derjenige des EnEV- Gebäudes. Die Simulation zeigt deutlich, dass gerade die Anteile des Jahres-Heizwärmebedarfs, die stark von den Baustoffen der Gebäudehülle abhängig sind, sich erheblich, je nach verwendeter Wärmedämmungsvariante, unterscheiden.

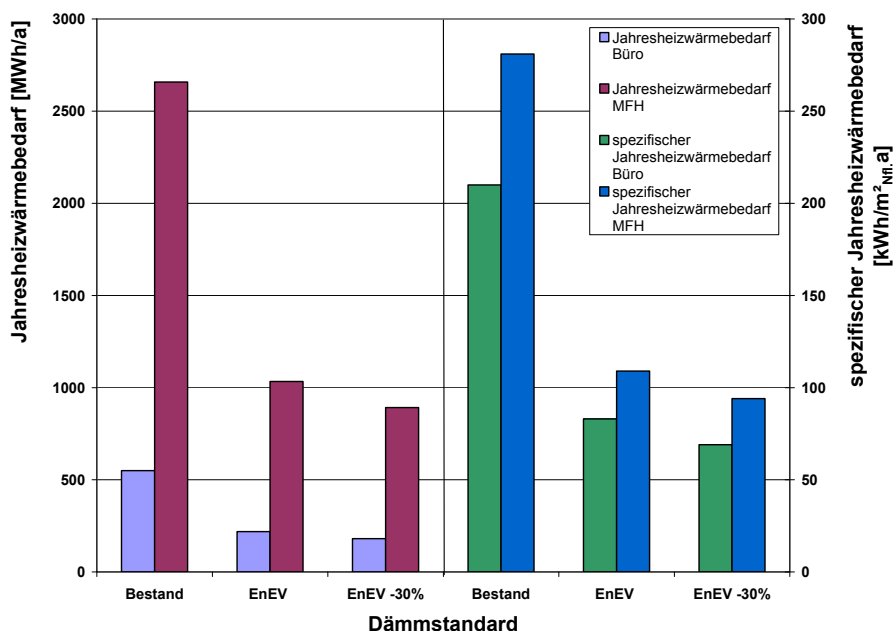


Bild 62 Berechnung des Jahresheizwärmebedarfs

In Bild 63 und Bild 64 sind die Simulationsergebnisse von PREBID und IISiBat nur für das Bürogebäude zusammengestellt.

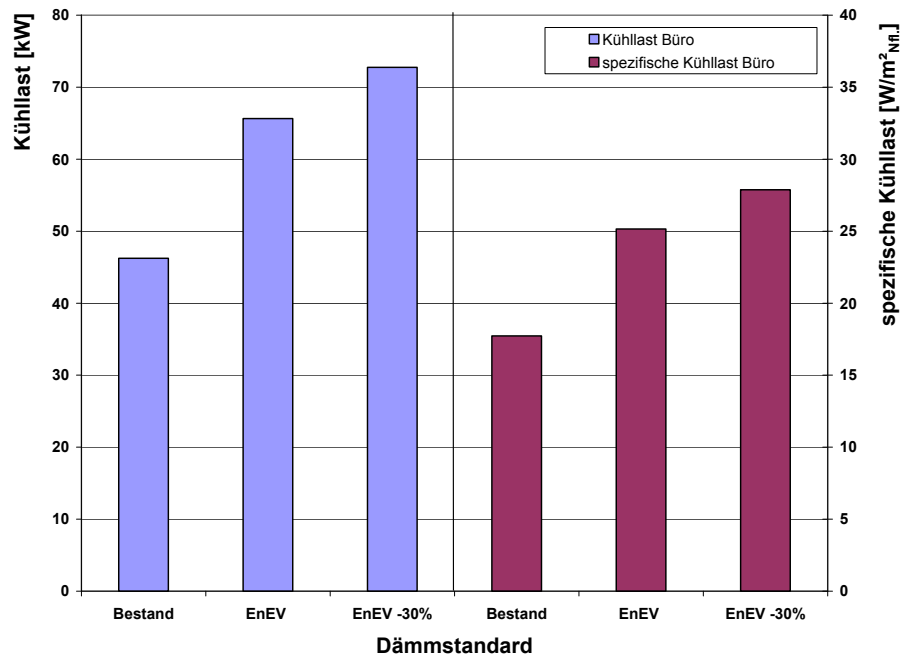


Bild 63 Norm-Kühllast Bürogebäude

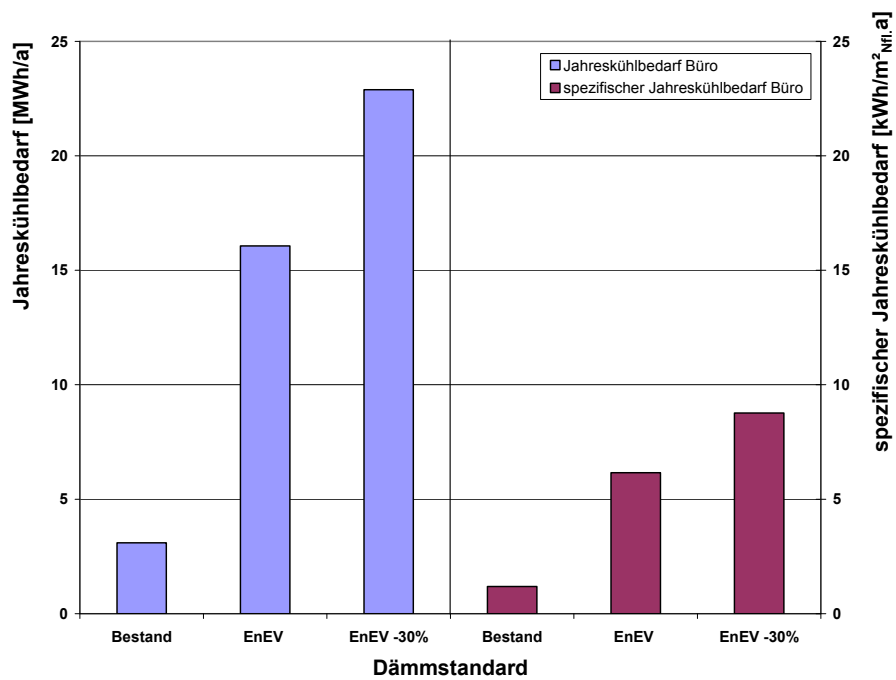


Bild 64 Jahreskühlbedarf Bürogebäude

Exemplarisch ist für das Mehrfamilienhaus eine Jahresbilanz über die energetischen Gewinne und Verluste dargestellt (Bild 65 und Bild 66).

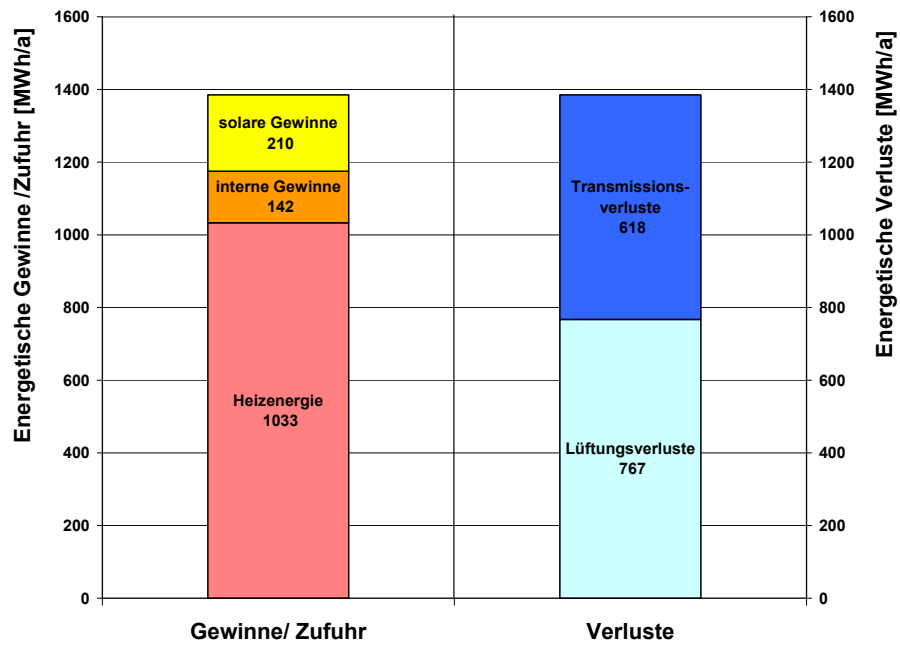


Bild 65 Jahres-Wärmebilanz (Bedarf und Deckung), Mehrfamilienhaus mit EnEV-Dämmstandard, Ust-Kamenogorsk

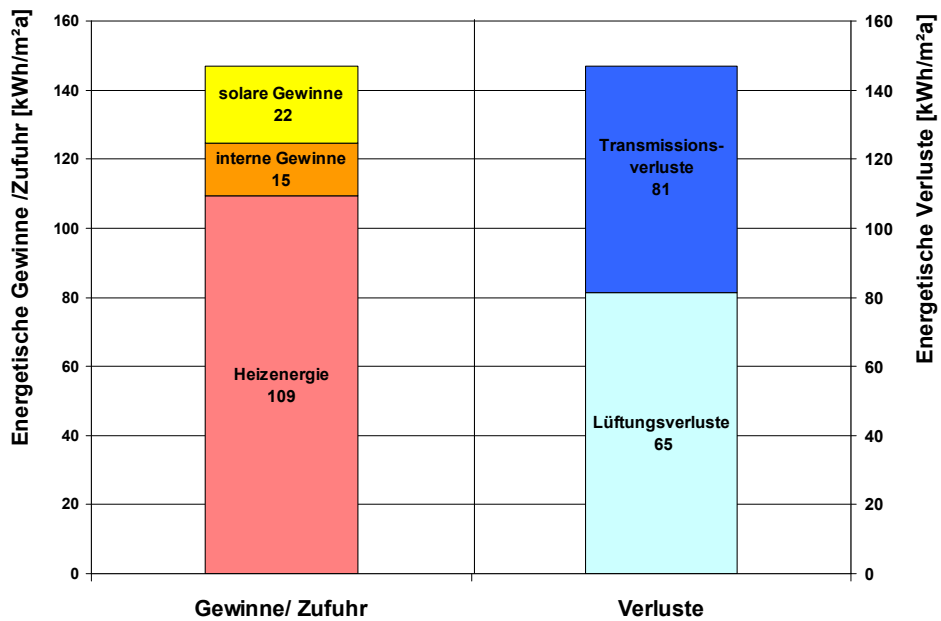


Bild 66 spez. Jahres-Wärmebilanz (Bedarf und Deckung), Mehrfamilienhaus mit EnEV- Dämmstandard, Ust-Kamenogorsk

Der sich aus der dynamischen Simulation mit TRNSYS für beide im EnEV- Standard ausgeführten Gebäude ergebende Lüftungs- ($Q_{\text{lüftung}}$) und Transmissionswärmebedarf (Q_T) sowie die internen und solaren Wärmegewinne in der Jahres-Bilanz sind in der Tabelle A10 und in Tabelle A11 des Anhangs, zusammen mit der resultierenden Heizlast aufgeführt.

Aufgrund der höheren internen Gewinne weist das Bürogebäude gegenüber dem Wohngebäude eine geringere Heiz-, jedoch eine höhere Kühllast auf. Diese Verhältnisse lassen sich grundsätzlich auch auf andere Standorte übertragen. Die extremen Klimabedingungen in Kasachstan führen jedoch zu einem relativ hohen Bedarfsniveau. Bei einer Erhöhung des Glasanteils der Fassade steigt das Bedarfsniveau zur Heizung und Kühlung weiter an.

7 Varianten der Energieversorgung in Ust-Kamenogorsk

Der Optimierung bzw. dem Vergleich der Versorgungsvarianten unterliegen die im Kapitel „Definition der Referenzgebäude in Ust-Kamenogorsk“ vorgestellten Bestandspläne der Wohn- und Bürogebäude und die Anordnung der Gebäude auf den geplanten Bauabschnitten. Sinnvoll für die zentralen Wärmeversorgungsvarianten (außer Fernwärmeversorgung) ist es, aufgrund des hohen Leistungsbedarfs und der langen Rohrleitungen (Netzverluste), jeweils einen Bauabschnitt mit 25 Wohngebäuden und einem Bürogebäude zu berücksichtigen. Die Auswahl der Anlagentechnik für das Bürogebäude berücksichtigt keine Kühlung.

Mit dem Simulationsprogramm [TRNSYS] wird der resultierende Wärme- und Kühlbedarf der zu versorgenden Objekte im Bestand ermittelt. In der Angabe des Wärmebedarfs der Gebäude sind die Netz- und Verteilverluste mit berücksichtigt.

Ein integraler Betrachtungsansatz führt dazu, dass Maßnahmen zur Reduzierung des Bedarfs von Wärme ausgearbeitet werden, d.h. die Wohn- und Bürogebäude werden im EnEV- und EnEV-30%- Standard ausgeführt. Mit dem Simulationsprogramm TRNSYS wird die Heiz- und Kühllast, der resultierende Wärme- und Kühlbedarf der zu versorgenden Neubauten für beide Gebäudedämmstandardausführungen ermittelt. Die Gewährleistung der erforderlichen Heizleistung für den EnEV- Standard erfolgt durch eine entsprechende ausgewählte Anlagentechnik, jeweils für die Versorgungsvarianten 1 bis 5. In Bild 67 zeigt das Schema für die zentrale Versorgung (Varianten 3-5).

Die neue geplante Siedlung in Ust-Kamenogorsk mit 5 Bauabschnitten soll energetisch optimal mit Wärme zur Beheizung von Räumen und zur Warmwasserbereitung versorgt werden.

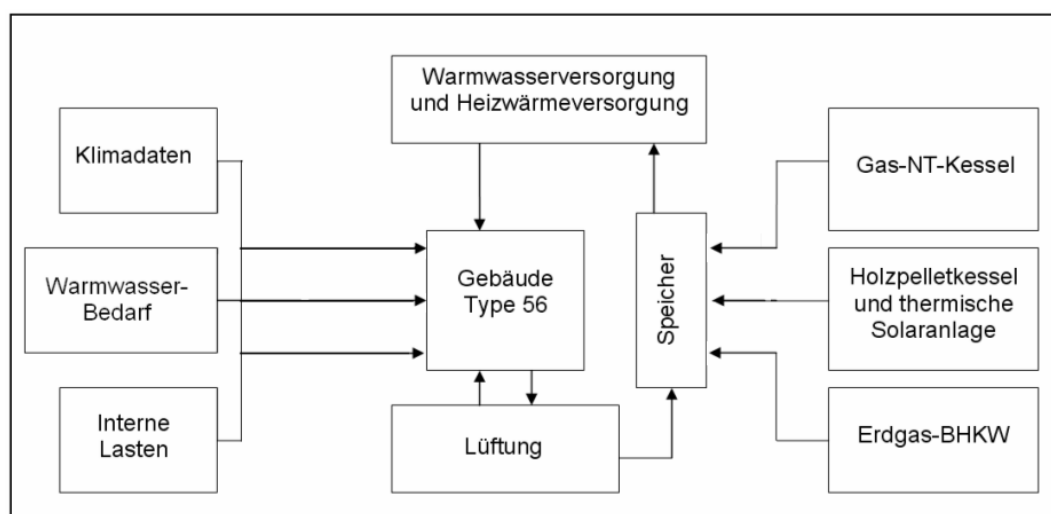


Bild 67 Schema der Anlagenvarianten, zentrale Versorgung (Varianten 3-5)

Die für die vorliegende Arbeit vorgesehene Referenzvariante ist eine konventionelle Fernwärmeversorgung durch ein modernes Braunkohlebefeuertes Kraftwerk mit Kraft- Wärme-Kopplung. Der zentralen Fernwärmeversorgung werden dezentrale und zentrale Wärmeversorgungsvarianten mit entsprechenden Wärmespeichern gegenübergestellt und im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit optimiert.

7.1 Dezentrale Wärmeversorgung

Die dezentrale Wärmeversorgung ist eine auf den Wärmebedarf ausgerichtete, verbraucher-nahe konventionelle Lösung für die Wärmeversorgung von Gebäuden. Diese Systemlösung wird in der vorliegenden Arbeit auf Wirtschaftlichkeit und ökologische Aspekte mit der Referenzvariante (Fernwärmeversorgung) verglichen.

Wärmeerzeuger: Unter Berücksichtigung der in den Gebäuden verwendeten Heizkörpern (siehe Bild 68) und Haustechnik ergibt sich die benötigte Vorlauftemperatur. Diese Vorlauftemperatur macht den Einsatz eines Brennwertkessels unwirtschaftlich. Als Wärmeerzeuger wird daher ein Niedertemperatur-Kessel (NT-Kessel) gewählt, der eine höhere Vorlauftemperatur bei geringerem Wirkungsgrad und geringen Investitionskosten bietet. Die Leistungsgröße des zu verwenden NT-Kessel wurde mit der Heizlastberechnung bzw. der Simulation ermittelt.



Bild 68 „Kleine“ Heizkörper zur Wohnraumbeheizung mit hoher Vorlauf-Temperatur [Projekt]

Aufgrund bestehender Heizungsanlagen in den Gebäuden erfolgt die Annahme, dass die Hausanlagen auf Vorlauftemperaturen von maximal 80°C und auf Rücklauftemperaturen von 50°C ausgelegt sind. Ein sorgfältig ausgeführter hydraulischer Abgleich in den Hausanlagen

ist erforderlich, um die Anforderung der niedrigen Rücklauftemperatur im praktischen Betrieb tatsächlich zu gewährleisten.

7.1.1 Ausstattung der Heizzentrale

Die Größe der Heizzentrale richtet sich nach der gewählten Anlagentechnik. Zusätzlich zum Heizraum sind, je nach verwendetem Heizsystem, weitere Räumlichkeiten wie z.B. Pelletlager oder Stellplätze für Pufferspeicher vorzusehen. Im Allgemeinen gelten für Heizzentralen folgende Empfehlungen: Alle Materialien der Heizzentrale für Boden, Wände sowie der Decke sind brandbeständig in F90 auszuführen. Die Türen der Heizzentrale in T30 Standard. Bei Kesselleistungen > 60 kW ist je eine Belüftungsöffnung in Bodennähe und eine in Deckennähe vorzusehen, die direkt ins Freie führt. Ein gekennzeichnete Not-Aus-Schalter ist an leicht zugänglicher Stelle außerhalb des Heizraumes in der Nähe der Heizraumtüre anzubringen.

Die Ausstattung der Heizzentrale ist ebenfalls für die zentrale Wärmeversorgung gültig.

7.1.2 Thermostatventile

Zur Reduktion des Wärmebedarfs um ca. 15 % (Herstellerangaben) werden für alle Wärmeversorgungsvarianten Thermostatventile vorgesehen. In der Auslegungsplanung sind der geringere Bedarf und die dafür vorgesehenen Kosten berücksichtigt.

Es ist für Kasachstan nicht typisch, dass Thermostatventile zur Raumtemperaturregelung eingesetzt werden. Die Einplanung in das Auslegungskonzept stellt eine Optimierung in der Wärmeversorgung dar.

Die Ausstattung der Heizkörper mit Thermostatventilen wird ebenfalls für die zentrale Wärmeversorgung vorgesehen.

7.2 Zentrale Wärmeversorgung

Die Wärmeverteilung erfolgt über ein Nahwärmenetz mit einer Grundversorgung über ein Erdgas- BHKW (Variante 3), ein Holzpellet- Heizkessel (Variante 4) und ein Gas- NT-Kessel (Variante 5). Die Mittellast- und Spitzenlastversorgung erfolgt über entsprechend dimensionierte Gas- NT-Kessel.

Voraussetzung für den wirtschaftlichen Einsatz der heute bekannten Technologien zur Nutzung regenerativer Energieträger ist eine Nahwärmeversorgung. Bei zentraler Versorgung kann in der Heizzentrale viel leichter auf andere Brennstoffe bzw. Energietechniken umges-

tellt werden als in jedem Einzelgebäude. Damit bietet sie auch unter geänderten ökologischen und ökonomischen Randbedingungen eine größere Versorgungssicherheit.

Die Nahwärmeversorgung gestaltet sich als wirtschaftlich, wenn die Netzverluste so gering wie möglich gehalten werden können.

7.2.1 Nahwärmenetz

In Bild 69 ist das Versorgungsnetz eines Bauabschnitts dargestellt, über das 25 Wohn- bzw. ein Bürogebäude von der Heizzentrale aus mit Wärme versorgt werden.

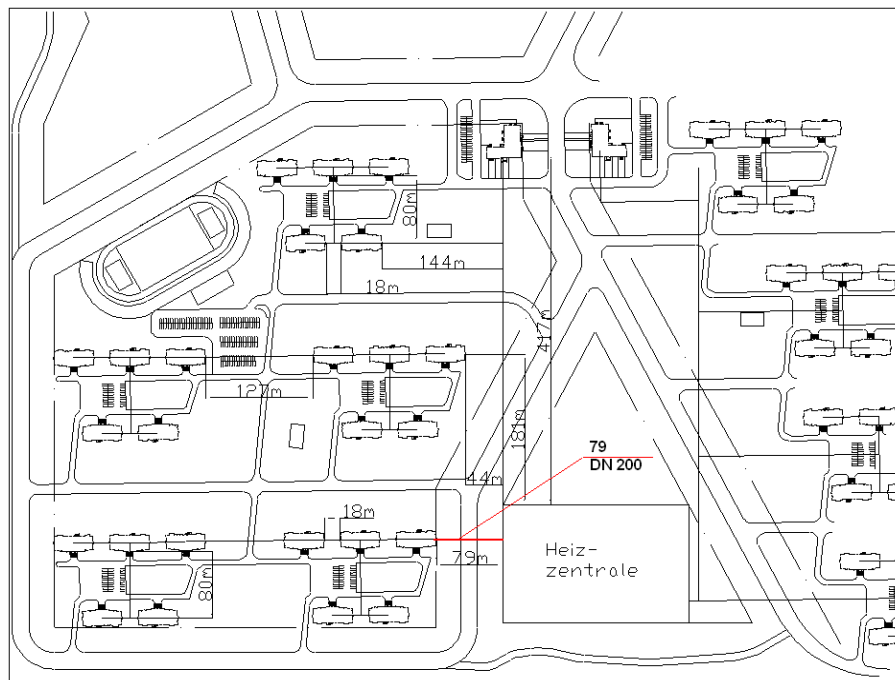


Bild 69 Nahwärmeversorgung in Ust-Kamenogorsk (1 von 5 Bauabschnitten)

Kostengründe und die Vermeidung von unnötigen Wärmeverlusten führen zur weitestgehend möglichen Trassenführung in den Kellerräumen der Gebäude und folglich auch zum Verzicht von Abzweigungen im Erdreich.

Die Trassenlänge beträgt ca. 2.150 m (incl. 10% Trassenzuschlags) und anfallende Netz-wärmeverluste belaufen sich auf 910 MWh/a, was je nach Dämmstandard etwa 1.8 % bis 2.0 % von der Heizzentrale abgegebener Wärmemenge bedeutet.

Das erdverlegte Nahwärmenetz wird unter Verwendung von Kunststoffmantelrohren (KMR) ausgeführt: Ein Kunststoffmantelrohr (KMR) besteht aus einem Stahlrohr, der Wärmedämmung aus Polyurethan oder FCKW- freiem PUR- Schaum (mit Leckwarnsystem) und einem Kunststoffmantel (siehe Bild 70).



Bild 70 erdverlegtes KMR- Rohr

Für die kellerverlegte Rohrleitung wird nahtloses Stahlrohr verwendet.

Folgende Anmerkungen werden bei der Planung des Nahwärmenetzes berücksichtigt:

- Druckverlust Hauptleitung 100 Pa/m
- Trassenlänge Haupttrassen + 10 % Zuschlag bzgl. Unwägbarkeit der Lage anderer Versorgungsleitungen in der Straße, Gehweg oder Ähnlichem
- Hausanschlussleitungen (ebenfalls KMR) + 10 % Zuschlag

Dimensionierung Nahwärmenetz

Die zu übertragende Leistung des Wärmeverteilnetzes richtet sich nach dem gewählten Dämmstandard.

Die Bestimmung der Durchmesser der Nahwärmeleitung wurde mittels einer Rohrnetzbe-
rechnung (geschwindigkeitsabhängig) durchgeführt.

Am Beispiel der in Bild 69 rot markierten Versorgungsleitung veranschaulichen folgende Be-
rechnungen die Trassedimensionierung:

Auslegungsspreizung 80°C/50°C

Dichte Wasser (50°C) = 983,19 kg/m³

max. Durchfluss bei DN 200 $\dot{V} = 146,81 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\dot{V} = A \cdot w$$

Gl. (17)

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{c_p \cdot \Delta t} = \frac{5040 \text{ kW}}{4,19 \text{ kJ / kgK} \cdot 30 \text{ K}} = 40,10 \text{ kg / s}$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{40,10 \text{ kg} \cdot 3600 \text{ s} \cdot \text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{h} \cdot 983,19 \text{ kg}} = 146,81 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$w = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{146,81 \text{ m}^3 / 3600 \text{ s}}{\pi / 4 \cdot (0,0703 \text{ m})^2}$$

$$\underline{\underline{w_{Auslegung} = 1,18 \text{ m / s} \quad i.O. \quad \text{Dimensionierung DN200}}}$$

Trassenlängen, Nennweiten und Investitionskosten für die dimensionierte Nahwärmeleitung sind in den Tabelle A12 und in den Tabelle A13 des Anhangs zusammengefasst

7.2.2 Hausübergabestation

Die Hausübergabestation (HÜST) ist das Bindeglied zwischen Nahwärmeversorgung und Hausanlage. Sie muss so ausgelegt sein, dass im Nahwärmenetz eine möglichst niedrige Rücklauftemperatur erreicht wird. Dies ist besonders von Bedeutung bei der Einbindung einer Solaranlage in die Wärmeversorgung, da die solaren Erträge der Kollektoren maßgeblich von der Rücklauftemperatur abhängen.



Bild 71 Hausübergabestation, mittlere Größe (mehrere 100 kW), Quelle: www.unterschleissheim.de

Für alle Gebäude wird die indirekte Anschlussweise, d.h. die hydraulische Trennung von Nahwärmeleitung und Hausanlage gewählt. Der wesentliche Vorteil dieser Variante ist die Betriebssicherheit für das Nahwärmenetz. Bei den gewählten Hausübergabestationen (HÜST) handelt es sich um Module in kompakter Bauweise. Bild 71 zeigt den Aufbau, einer HÜST mit hydraulischer Netztrennung mit WW- Bereitung im Durchflusssystem.

7.2.3 Brauchwasserspeicher

Der Speicher- Wassererwärmer wird nach [DIN 4708] T1 „Tabellenverfahren“ dimensioniert. Die sich ergebende Bedarfskennzahl N wird dann zur Auswahl eines Brauchwasserspeichers aus Firmenunterlagen verwendet. Die Anzahl der zu berücksichtigenden Zapfstellen wird aus den vorliegenden Zeichnungen des Gebäudes entnommen. Die verwendeten Tabellen und Randbedingungen sind in Tabelle A.1.1 zusammengefasst.

7.3 Solarunterstützte Warmwasserbereitung (Variante 2, 4 und 5)

Aufgrund der hohen Sonneneinstrahlung in Ust-Kamenogorsk werden die Dächer der Wohngebäude für die Wärmeversorgungsvariante 2 (dezentrale Wärmeversorgung mit solarunterstützter Warmwasserbereitung) vollständig mit Kollektoren belegt. Begrenzender Faktor ist in diesem Fall die Verschattung der Kollektoren, siehe Bild 72 und Bild 73.

Aufgrund der zentralen Wärmeversorgung werden bei den Versorgungsvarianten 4 und 5 die Kollektoren in der Nähe des Kurz- bzw. Langzeit-Wärmespeichers angeordnet, damit die solare Nutzung so groß wie möglich ist und sich die Verteilverluste minimal gestalten.

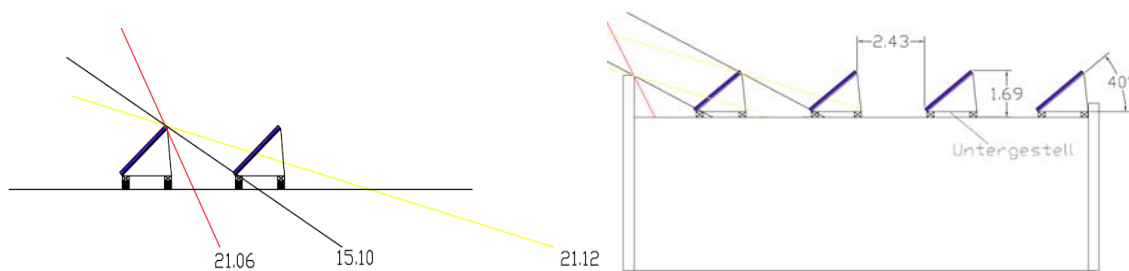


Bild 72 Aufstellplan der Kollektoren am 29.03 [Heuer]



Bild 73 Kollektoranordnung auf den Flachdächern [Heuer]

Aufdachmontage bei Flachdächern

Die Kollektorfelder werden aus Flachkollektoren modular aufgebaut, die in großen Feldern sehr rationell montiert werden können. Sie werden auf Flachdachständern (siehe Bild 33) befestigt und mit Ankersteinen bzw. Schraubbefestigungen gegen eine mögliche Windlast gesichert. Je nach Größe der Kollektorfelder betragen die Investitionskosten (ohne Planung) für den Kollektoraufbau ca. 250 bis 280 €/m² Kollektorfläche. Eine statische Überprüfung der vorhandenen Dachkonstruktion ist in jedem Fall vorzunehmen.

Dimensionierung der Solaranlage (Kollektoren und Speicher)

Der im Excel-Formular verwendete Kollektorertrag von 415 kWh/(m²·a) beruht auf einer Simulation mit [TRNSYS]. Die Ergebnisse der Simulation sind im Anlagenteil enthalten.

Das solar unterstützende Anlagensystem besteht aus 111 aufgeständerten Flachkollektoren (Fläche 280 m²) pro Gebäude, einem Pufferspeicher von 15 m³ pro Gebäude, dem Warmwasser-Bereitschaftsspeicher mit 750 Litern und der Nachheizungsmöglichkeit über einen Gas- NT-Kessel, (gültig für Wärmeversorgungsvariante 2).

Kollektornetz: Das Kollektornetz wird als ein 2 Leiternetz ausgeführt. Zur Verringerung von Netzverlusten werden die Vor- und Rücklaufleitungen möglichst kurz bzw. im Gebäude verlegt. Zur Übergabe der Solarwärme an den Heizkreis ist ein Wärmeübertrager erforderlich, der sich in der Heizzentrale befindet.

Kollektorleitungen: Bei der Unterbringung von Kollektoren auf den Dächern der Gebäude, verlaufen die Rohrleitungen des Kollektorkreislaufes entlang der Fassade und sofern möglich, innerhalb der Gebäude. Dabei wird ein 2-Leiternetz gewählt.

Für die Wärmeversorgungsvariante 5 werden die in Kapitel „Systeme auf Basis regenerativer Energieträger in Deutschland“ vorgestellten Flachkollektoren eingesetzt.

Zum Einsatz kommt bei der Versorgungsvariante 2 eine thermische Solaranlage nach dem Drain- Back-System (siehe Bild 74). Für die Varianten 4 und 5 kann das Drain- Back-System nicht eingesetzt werden. Gründe hierfür sind ein zu großer benötigter Drang-Back-Behälter und die lange Be- und Entladezeiten der Kollektorflächen. Zum Einsatz kommt daher eine Standard - Low- Flow- Anlage mit einer Wasser-Glykol Mischung.

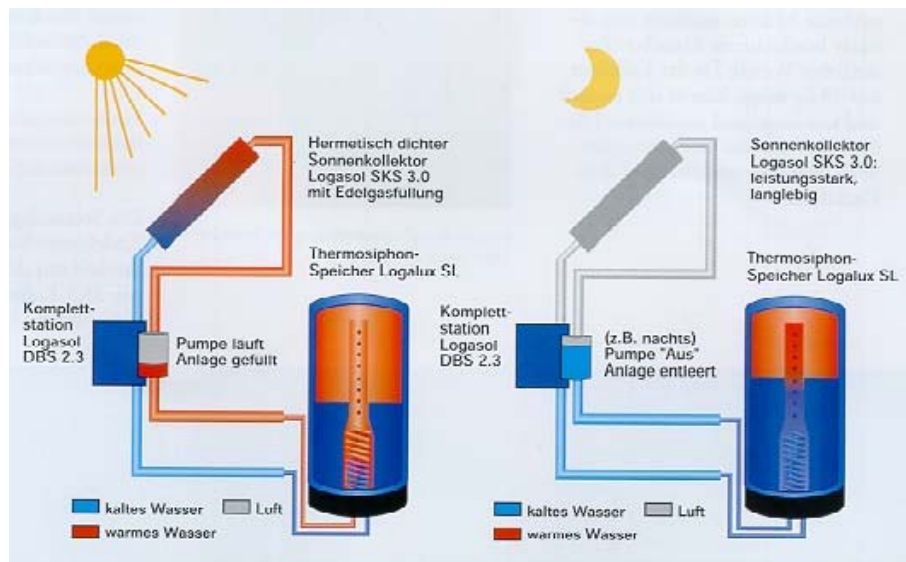


Bild 74 Thermische Solaranlage nach dem Drain- Back- System [Buderus]

Vorteile der Systeme sind:

- Produktion von Wärme schon bei geringer Sonneneinstrahlung
- Eliminierung von Überhitzungsproblemen im Sommer
- Keine Frostgefahr im Winter
- Kostenersparnis da kein Glykol benötigt wird.

7.4 Energieversorgungsvarianten

Die folgenden sind die Energieversorgungsvarianten:

1. Zentrale Wärmeversorgung mit Fernwärme (Referenzvariante) für 3 Dämmstandards (Bestand, EnEV und EnEV-30%) der Gebäude
2. Dezentrale Wärmeversorgung mit Gas- Niedertemperaturkessel, zzgl. einer thermischen Solaranlage für Wohngebäude (EnEV- Dämmstandard)
3. Zentrale Wärmeversorgung mit Erdgas- BHKW und Kurzzeitwärmespeicher (EnEV- Dämmstandard)
4. Zentrale Wärmeversorgung mit Holzpellet - Kessel zzgl. einer thermischen Solaranlage (CO₂-neutrale Wärmeversorgung) und Kurzzeitwärmespeicher (EnEV- Dämmstandard)
5. Zentrale Wärmeversorgung mit Gas- Niedertemperaturkessel, zzgl. einer thermischen Solaranlage und Langzeitwärmespeicher (EnEV- Dämmstandard)

Das Hauptaugenmerk wird auf die 4. Versorgungsvariante gelegt: eine zukunftsorientierte Energieversorgung auf der Basis von regenerativen Energieträgern (Sonne und feste Biomasse). Diese Art der Versorgung ist innovativ für Kasachstan und weist einen hohen Demonstrationscharakter für das Land auf.

Die Kosten der jeweiligen Systeme werden überschlägig ermittelt und mit denen der konventionellen Wärmeversorgung (Referenzvariante) verglichen. Hierbei werden nicht nur die Investitionskosten, sondern auch die Kosten für den laufenden Betrieb und Wartung der Anlage berechnet und verglichen. Abschließend erfolgt die Bewertung hinsichtlich des CO₂-Einsparpotential und der Reduzierung des Primärenergiebedarfs.

Für die Kostenermittlung und Randbedingungen werden Daten, soweit vorhanden, von der Stadt Ust-Kamenogorsk verwendet. Bei fehlenden Daten / Kosten werden diese vom Standort „Deutschland“ verwendet.

In der nachfolgenden Aufstellung sind die Arbeitsschritte ersichtlich, die die anschließende Bewertung der Versorgungsvarianten ermöglicht:

1. Simulation der bestehenden Gebäude mit Hilfe von TRNSYS 15 mit den Wetterdaten des TRY für Ust-Kamenogorsk. Folgende Ergebnisse wurden für die Dimensionierung der Wärme- und Kälteversorgung ausgewertet:
 - max. Heiz-, Warmwasser- und Kühllast [kW]
 - Jahres Wärme-, Heißwasser- und Kühlbedarf [kWh/a]
2. Erforderliche bauliche Maßnahmen für die Unterbringung der Anlagentechnik
3. Aufstellung der Energiebilanzen
4. Ermittlung der Investitionskosten auf Basis einer Kostenschätzung
5. Wirtschaftlicher Vergleich der Varianten nach VDI 2067 und
6. Ökologischer Vergleich

7.4.1 Heizenergie- und Heizleistungsbedarf

Der Heizenergiebedarf setzt sich zusammen aus dem Raumwärmebedarf und dem Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung. Der resultierende Heizenergiebedarf der Gebäude wird über die thermische Simulation mit dem Programm [TRNSYS] ermittelt. Die Grundlagen für die Berechnung der Gebäude sind in Anhang A1 zusammengefasst. In der Tabelle A10 befindet sich die Zusammenfassung des Heizenergiebedarfs.

Die Berechnung der Heizleistung erfolgt nach dem vereinfachten Verfahren der [DIN EN 12831] und mit dem thermischen Simulationsprogramm [TRNSYS] nach [DIN 4701].

In Bild 75 und Bild 76 sind der resultierende Heizenergie- und Heizleistungsbedarf und spez. Heizenergie- und Heizleistungsbedarf für drei Gebäude- Dämmstandards (Bestand, EnEV und EnEV-30%) eines Bauabschnitts mit zentraler Wärmeversorgung (Variante 1: Fernwärmeversorgung) zusammengefasst.

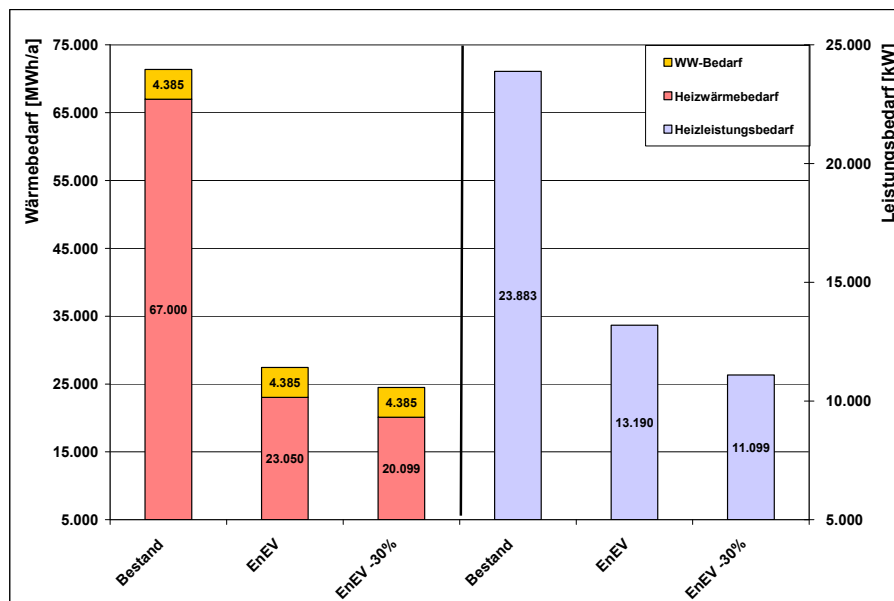


Bild 75 Heizenergie – und Heizleistungsbedarf bei zentraler Wärmeversorgungsvariante mit Fernwärme

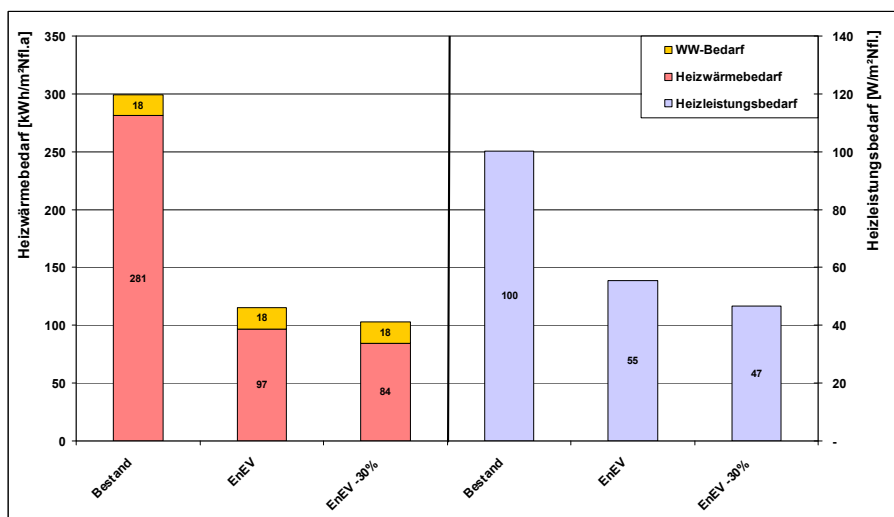


Bild 76 spez. Heizenergie – und Heizleistungsbedarf bei zentraler Wärmeversorgungsvariante mit Fernwärme

7.4.2 Wirtschaftliche Berechnung

Ausgehend von den Simulationsergebnissen wurden in diesem Abschnitt die Anlagenkosten berechnet.

Investitionskosten Heizzentrale

Die Kosten für die Erstellung einer Heizzentrale für die fünf Varianten der Wärmeversorgung werden mit 200 €/m³ (Raumvolumen Heizzentrale) angesetzt. Bei den Varianten bei denen zusätzlich ein Raumbedarf benötigt wird (Pelletlager), wird für die Erweiterung ein Betrag von 200 €/m³ (pro Raumvolumen) angesetzt. Berücksichtigt wird auch der Aufwand für die Bereitstellung eines Raumes / Unterzentrale in den einzelnen Gebäuden, zur Unterbringung des Heizungsverteilers und des Speicherladesystems zur Warmwasserbereitung.

Investitionskosten Wärmenetz

Die Kosten für das Wärmenetz setzen sich zusammen aus den Kosten für:

Tiefbau, Rohrmaterialien und Verlegung, Leckwarnsystem, Unvorhergesehenes, dem in KMR ausgeführten Hausanschluss und der Planung. In Tabelle A12 des Anhangs sind die Kosten detailliert aufgeführt.

Die Rohrnetzskosten für die KMR- Verlegung betragen **376 €/m** und für kellerverlegtes Stahlrohr **147€/m**.

Der „Fraunhofer UMSICHT Leitfadens Nahwärme“ (Seite 51) zeigt aus Projekterfahrungswerten, dass sich die Kosten im üblichen Rahmen bewegen:

KMR 210- 430 €/m

Kellerverlegte Leitung 110 - 200 €/m

Investitionskosten Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS)

Anhaltspunkte für die Maßnahmen bezüglich der Verbesserung des Wärmeschutzes sind zum einen der Kennziffernkatalog [KZK] und zum anderen Preisinformationen durch Fachfirmen, die bereits Erfahrungen mit vergleichbaren Objekten gesammelt haben. Die einzelnen Baugruppen (z.B. Fassadendämmung als Wärmedämmverbundsystem, usw. wurden nach Positionen bzw. Leistungen aufgeschlüsselt.

Investitionskosten Wärmeerzeuger

Wärmeversorgungsanlage		EnEV- Standard Spitzenlast- / Mittellastkessel
Gas- NT- Kessel (dezentrale Variante 2)	Leistung [kW] Preis [€]	520 / 200 27.500 / 11.500
Gas- NT- Kessel (zentrale Varianten 3 - 5)	Leistung [kW] Preis [€]	5.200 / 3.700 220.000 / 160.000
Erdgas- BHKW (zentrale Variante 3)	Leistung [kW] Preis [€]	501 kW _{th} / 370 kW _{el} 184.310
Holzpellet- Heizkessel (zentrale Variante 4)	Leistung [kW] Preis [€]	500 kW 150.000

Tabelle 9 Auflistung der Preise für Wärmeerzeuger [Viessmann], [Buderus]

Investitionskosten, gesamt

Für fünf Wärmeversorgungsvarianten (Gebäude mit EnEV - Dämmstandard) werden die Komponenten der Wärmeversorgung grob dimensioniert und die erforderlichen Investitionskosten ermittelt. Die Investitionskosten umfassen alle Anlagenteile, die zur Bereitstellung der Wärme (Heizung und WW) erforderlich sind. Enthalten sind Kosten für Unvorhergesehenes (10 %) sowie Planungskosten (15 %). Die Kosten für die Wärmeverteilung im Gebäude werden nicht einbezogen, sie sind bei allen Varianten gleich hoch.

Die detaillierten Investitionen für die Varianten 1-5 sind im Anhang A 3.1 zusammengefasst.

Jahresgesamtkosten

Die Jahresgesamtkosten setzen sich aus Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten sowie den Energiekosten zusammen.

Die Wartungs- und Betriebskosten berechnen sich nach [VDI 2076] Bl.1.

Die Höhe des Strombedarfs wird aus Projekterfahrungswerten ermittelt. Für die Berechnung der Annuität wird von einem Zinssatz von 6 % ausgegangen.

$$K_{ges,a} = K_{Kapital,a} + K_{Wartung,a} + K_{Energie,a} \quad \text{Gl. (18)}$$

$K_{ges,a}$ - gesamte Jahreskosten

$K_{Kapital,a}$ - jährliche Kapitalkosten

$K_{Wartung,a}$ - jährliche Wartungskosten

$K_{Energie,a}$ - jährliche Energiekosten

Die Kapitalkosten werden wie folgt berechnet:

$$K_{Kapital} = K_{Investition} \cdot \frac{p}{1 - (1 + p)^{-I}} \quad \text{Gl. (19)}$$

p - Zinssatz

$K_{Investition}$ - Investitionskosten

I - Nutzungsdauer der Anlage

Die Wartungskosten sind nach [VDI 2067] wie folgt definiert:

$$K_{Wartung,a} = k_{wartung} \cdot m_{Wartung} \quad \text{Gl. (20)}$$

$k_{Wartung}$ - anteilige Wartungskosten je Anlagenteil in % mit Bezug auf die Investitionskosten

$m_{Wartung}$ - Mittelwertfaktor der Verteuerung der Wartungs- und Unterhaltskosten

Die Energiekosten werden nach folgender Gleichung berechnet:

$$K_{Energie,a} = B_{Ha} \cdot P \quad \text{Gl. (21)}$$

B_{Ha} - Jahresbrennstoffbedarf

P - Energiepreis

Die Kostenberechnungen für drei Varianten der Wärmedämmung und alle Variationen der Wärmeversorgungsanlagen wurden in Excel-Tabellen durchgeführt. Für die Anlagenkomponenten wurden die Preise nach deutschen Maßstäben eingesetzt. Zurzeit werden neue Anlagen in westeuropäischen Ländern eingekauft, weil die örtliche Produktion keine entspre-

chenden Anlagen herstellt. In Tabelle A13 sind die Preise für die eingesetzten Wärmeerzeuger zusammengefasst.

Energiekosten

Für die Kostenberechnung wurden hier die Kosten für die MSR- Technik (Mess-Steuerungs-Regelungs-Technik), die Abgasanlage, die hydraulische Einbindung der Kessel, sowie der Anlagenraumbedarf ermittelt. In den Investitionskosten wurden 10% für Unvorhergesehenes, sowie 15% für Planungskosten einkalkuliert.

Die detaillierten Jahresgesamtkosten für die Varianten 1-5 sind im Anhang A 3.2 zusammengefasst.

Die einzelnen Varianten der Wärmeversorgung werden in den nächsten Abschnitten detailliert beschrieben.

7.4.3 Spezifischer Energiebedarf

Der **Spezifische Primärenergiebedarf** ist die „Energie, die zur Deckung des Endenergiebedarfs benötigt wird unter Berücksichtigung der zusätzlichen Energie, die durch Vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze „Gebäude“ bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen bezogen auf 1 m² Nutzfläche“. [TaschBuch].

$$Q_p = \frac{Q_{End} \cdot f_p}{A_N} \quad \text{Gl. (22)}$$

A_N ist die Nutzfläche in m².

Der Primärenergiefaktor f_p (kWh_{Prim}/kWh_{End}) für die Bereitstellung von Heizwärme und Warmwasser gibt den Primärenergieaufwand für die Bereitstellung des Energieträgers wieder.

Es wurden folgende Werte für f_p nach [DIN V 4701-10] eingesetzt:

- f_p für Fernwärme (70% KWK / 0% KWK) – 0,77 / 1,52
- f_p für Strom – 2,7
- f_p für Holz – 0,2
- f_p für Gas – 1,1

Der **Spezifische Endenergiebedarf** ist die „Energie, die für die Gebäudebeheizung unter Berücksichtigung des Heizwärmebedarfs und der Verluste des Heizungssystems, sowie des Warmwasserbedarfs und der Verluste des Warmwasseraufbereitungssystems aufgebracht werden muss. Die Endenergie bezieht die für den Betrieb der Anlagentechnik benötigte Hilfsenergie mit ein, bezogen auf 1 m² Nutzfläche.“ [TaschBuch].

$$Q_{end} = \frac{B_{H,a}}{A_N} \quad \text{Gl. (23)}$$

Der **Spezifische Nutzenergiebedarf** ist die „Energie, die vom Heizsystem unter normierten Bedingungen abgegeben werden muss, um den Heizwärmebedarf und den Trinkwasserwärmebedarf zu decken, bezogen auf 1 m² Nutzfläche.“ [TaschBuch].

$$Q_N = \frac{Q_H + Q_W}{A_N} \quad \text{Gl. (24)}$$

7.4.4 Maximale Heizleistung und Wärmebedarf

In Tabelle 10 und 11 sind die maximale Heizleistung und der Wärmebedarf für 238.372 m² Nutzfläche der verschiedenen Varianten zusammengestellt.

		Varianten 1		Varianten 2	Varianten 3	Varianten 4	Varianten 5
	Bestand	EnEV	EnEV-30%	EnEV	EnEV	EnEV	EnEV
Fernwärme	16500 kW	13000 kW	11000 kW				
Gas-NT-Kessel				13000kW	8900 kW	8900 kW	9400 kW
BHKW					500 kW		
Holzpellt-Kessel						500 kW	

Tabelle 10 die maximale Heizleistung der verschiedenen Varianten

		Varianten 1		Varianten 2	Varianten 3	Varianten 4	Varianten 5
	Bestand	EnEV	EnEV-30%	EnEV	EnEV	EnEV	EnEV
Fernwärme	71385 MWh/a	27435 MWh/a	24484 MWh/a				
Gas-NT-Kessel				25082 MWh/a	24086 MWh/a	21781 MWh/a	20164 MWh/a
Solaranlage				2353 MWh/a		2719 MWh/a	8180 MWh/a
BHKW					4258 MWh/a		
Holzpellt-Kessel						3844 MWh/a	

Tabelle 11 die maximale Wärmebedarf der verschiedenen Varianten

7.4.5 Variante 1 – Fernwärme aus kohlegefeurten Kombikraftwerk (Referenzvariante, EnEV- Standard, EnEV-30%)

Ein Büro- und 25 Wohngebäude eines Bauabschnitts, ausgeführt in drei Wärmedämmstandards werden an ein Fernwärmenetz angeschlossen und mit Wärme zur Beheizung und Warmwasserbereitung versorgt. Die Fernwärme wird in einem kohlebeheiztem Heizkraftwerk mit Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt. In der Auslegung wird die Fernwärme mit einem

70%igen KWK- Anteil berücksichtigt (Gebäude, die zu mindestens 70 % mit Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) versorgt werden).

In der Tabelle 12 sind die erforderlichen Leistungen für 3 Dämmstandards zusammengefasst.

	Bestand	EnEV	EnEV -30%
MFH (25)	16.502 kW	12.993 kW	10.924 kW
Bürogebäude (1)	336 kW	197 kW	175 kW

Tabelle 12 Heizleistungen der Wärmeerzeuger für die zentrale Versorgung Variante 1

Diese Art der Wärmeversorgung wird als Referenz ausgewählt, da diese Art der Wärmeerzeugung typisch für Kasachstan ist. Die Ausführung der Gebäude erfolgt im EnEV- Dämmstandard.

Anlagentechnisch erhält bei dieser zentralen Wärmeversorgung jedes Gebäude einen eigenen Fernwärmeanschluss. Der Standort der Heizzentrale befindet sich im Kellergeschoss der Gebäude. In der Heizzentrale befinden sich je eine Fernwärme- Übergabestation, eine Heizungsverteilung, sowie ein Trinkwarmwasserspeicher (750 l) mit Speicherladesystem (SLS).

Die Art der Übergabe (direkt / indirekt) sowie die Übergabestation entsprechen den Anforderungen der jeweiligen Stadtwerke bzw. des Netzbetreibers. Im Normalfall wird die Übergabestation vom Netzbetreiber geliefert.

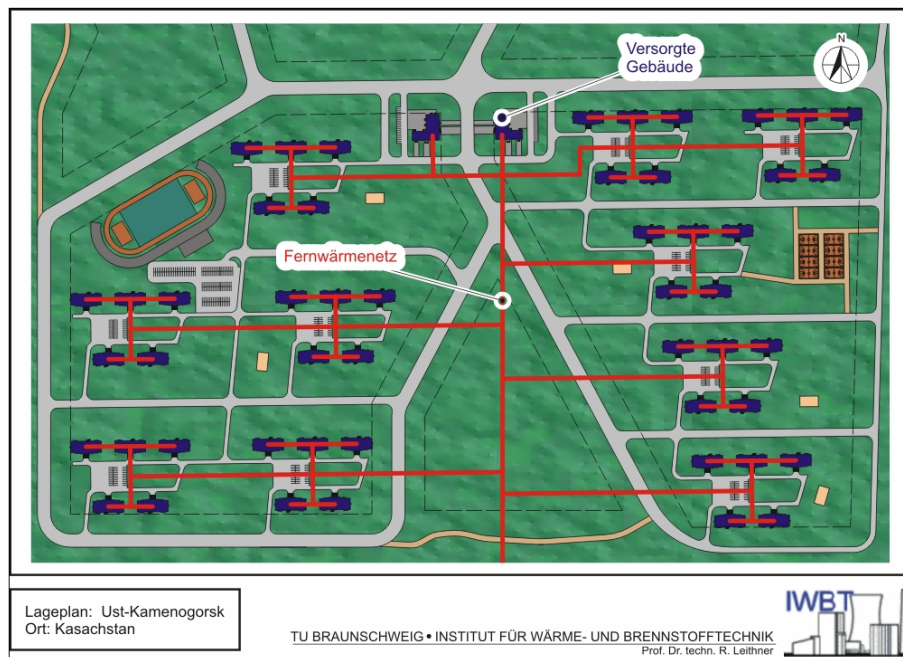


Bild 77 Zentrale Versorgung der Siedlung mit Fernwärme



Bild 78 Fernwärmeübergabestation. Quelle: www.rebaro.net

Das Fernwärmenetz für die geplante Siedlung (exemplarisch für 2 Bauabschnitte) und das Anlagenschema bzw. der Fernwärmeanschluss für Variante 1 ist in Bild 77 bis Bild 79 dargestellt.

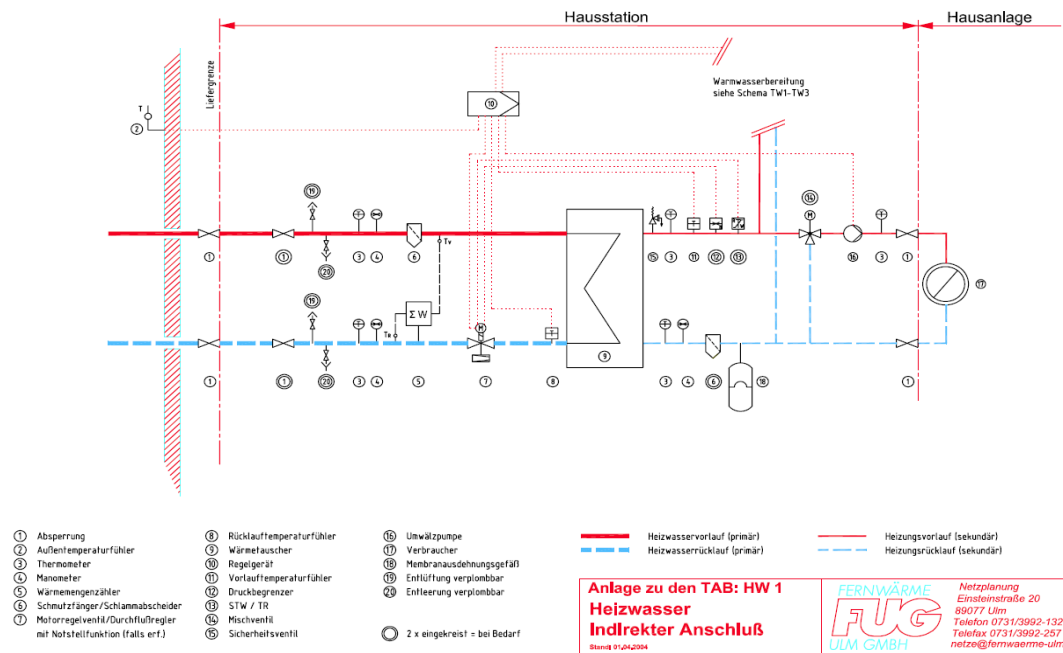


Bild 79 Variante 1 – Zentrale Versorgung mit Fernwärme (indirekte Übergabe) [FÜG]

Die maximale erforderliche Fernwärmeleistung wurde mit 12.993 kW für die Dämmstandard EnEV berechnet. Eine Kostenaufstellung bezüglich der einmaligen Investitionen und der jährlich anfallenden Kosten für Kapital, Wartung, Instandsetzung und Energie erfolgt in nachfolgender Tabelle A 21 des Anhangs.

		Referenz		
		Var. 1 C	Var. 1 A	Var. 1 B
		Bestand	EnEV	EnEV -30%
Wohnfläche	m ²	143.985	143.985	143.985
Nutzfläche A _N (nach EnEV)	m ²	238.372	238.372	238.372
Wohneinheiten	WE	1.300	1.300	1.300
Gesamtwärmebedarf	MWh/a	72.295	28.344	24.484
Heisanlage(n)	T€	1.111	1.257	1.191
Solaranlage	T€			
Nahwärmenetz	T€			
Hausübergabestation	T€	286	276	252
WDVS	T€		17.170	23.138
Investitionen Wärmeversorgung gesamt	T€	1.397	18.704	24.581
Investitionen Wärmeversorgung ohne WDVS	T€	1.397	1.534	1.443
<u>Jahresgesamtkosten</u>				
Kapitalkosten	T€ / a	113	117	111
Kapitalkosten mit WDVS	T€ / a	113	1.372	1.802
Instandsetzung, Wartung, Betrieb	T€ / a	27	27	26
Instandsetzung, Wartung, Betrieb mit WDVS	T€ / a	27	56	68
Energiekosten	T€ / a	6.296	2.678	2.378
Jahresgesamtkosten	T€ / a	6436	2.823	2.515
Jahresgesamtkosten mit WDVS	T€ / a	6436	4.106	4.247
Wärmekosten	€/MWh	90	103	102
Wärmekosten mit WDVS	€/MWh	89	145	173

Tabelle 13 Investitionskosten und Jahresgesamtkosten Variante 1

Der erforderliche Bauliche Maßnahme für Dämmstandard Bestand wird im Rahmen der Investitionskostenermittlung (Excel-Formular) berücksichtigt, jedoch zu 0€ gesetzt.

7.4.6 Variante 2 – Dezentrale solarunterstützte Wärmeerzeugung mit Erdgas

Bei der dezentralen Wärmeversorgung erhält jedes Gebäude einen eigenen Gasanschluss. Der Standort der Heizzentrale befindet sich im Keller. In der Heizzentrale befindet sich ein Gas-NT-Kessel, der die gebäudeweite Zentralheizung, bestehend aus Heizungsverteilung und Warmwasserbereitung (750 l Volumen) mit Speicherladesystem (SLS), versorgt.

Die Warmwasserbereitung wird in den Sommermonaten durch eine thermische Solaranlage mit Drain- Back-System unterstützt. Die Flachkollektoren werden auf den Dächern der Mehrfamilienhäuser angebracht. Außerhalb der Gebäude wird jeweils ein Pufferspeicher vorgesehen.

Die Lageplan der geplanten Siedlung (Ausschnitt) und das Anlagenschema der Variante 2 wird in Bild 80 und Bild 81 vorgestellt.

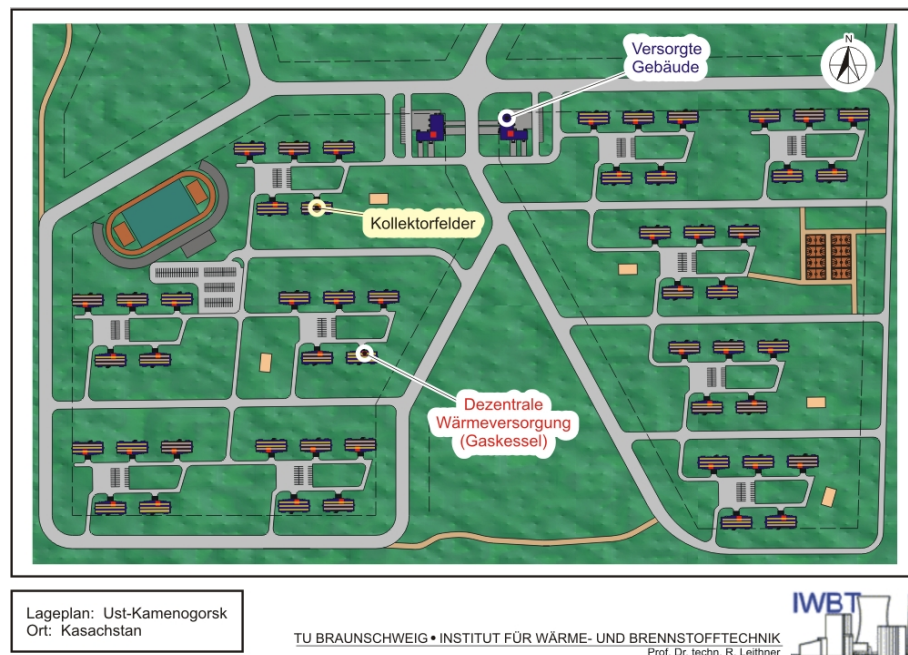


Bild 80 Dezentrale Versorgung der Siedlungen mit Gas-NT-Kessel

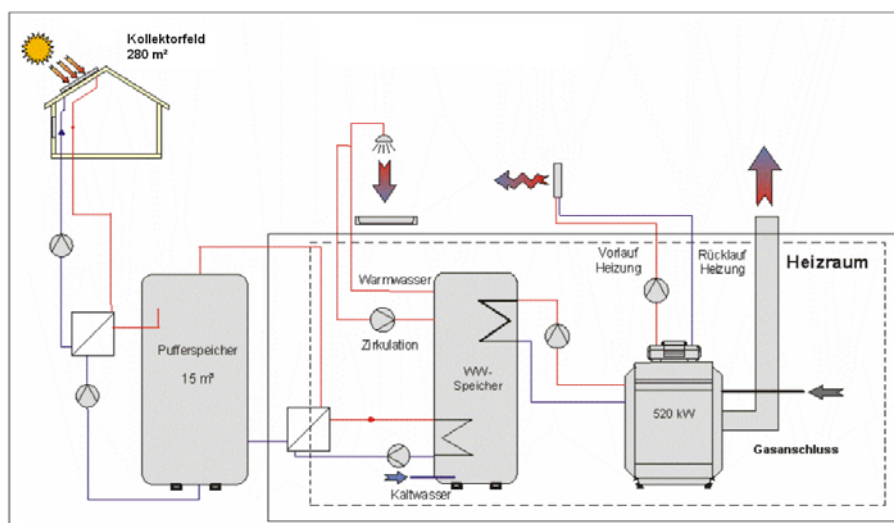


Bild 81 Anlagenschema der Variante 2 – Ausführungsbeispiel mit Gas-NT-Kessel

In der Tabelle 14 sind die Leistungsgrößen der Wärmeerzeuger der Variante 2 zusammengefasst.

	EnEV
MFH (25)	25·520 kW
Bürogebäude (1)	197 kW

Tabelle 14 Leistungsgrößen der Wärmeerzeuger für die dezentrale Versorgung – Variante 2

Eine Kostenaufstellung bezüglich der einmaligen Investitionen und der jährlich anfallenden Kosten für Kapital, Wartung, Instandsetzung und Energie erfolgt in nachfolgender Tabelle A 15 und in den Tabellen A 20 des Anhangs.

		dezentral Var 2 A EnEV
Wohnfläche	m ²	143.985
Nutzfläche A _N (nach EnEV)	m ²	238.372
Wohneinheiten	WE	1.300
Gesamtwärmebedarf	MWh/a	27.435
Heisanlage(n)	T€	2.344
Solaranlage	T€	3.521
Nahwärmenetz	T€	
Hausübergabestation	T€	
WDVS	T€	17.170
Investitionen Wärmeversorgung gesamt	T€	23.035
Investitionen Wärmeversorgung ohne WDVS	T€	5.865
<u>Jahresgesamtkosten</u>		
Kapitalkosten	T€ / a	551
Kapitalkosten mit WDVS	T€ / a	1.805
Instandsetzung, Wartung, Betrieb	T€ / a	106
Instandsetzung, Wartung, Betrieb mit WDVS	T€ / a	135
Energiekosten	T€ / a	1.628
Jahresgesamtkosten	T€ / a	2285
Jahresgesamtkosten mit WDVS	T€ / a	3.568
Wärmekosten 	€/MWh	83
Wärmekosten mit WDVS	€/MWh	130

Tabelle 15 Investitions- - Jahresgesamtkosten – Variante 2

Die Kosten für die MSR-Technik, sowie Abgasanlage und hydraulischer Einbindung der Kessel wird berücksichtigt. Der erforderliche Gasanschluss wird im Rahmen der Kostenermittlung (Excel-Formular) in allen Varianten berücksichtigt, jedoch zu 0€ gesetzt, da die Preise je nach Versorgungsunternehmen stark variieren.

7.4.7 Variante 3 - Zentrale Energieversorgung mit Erdgas- BHKW und Kurzzeit-Wärmespeicher

Die Ausführung dieser Variante wird aufgrund der großen erforderlichen Leistung für jeweils einen Bauabschnitt vorgesehen, der 25 Wohngebäude und 1 Bürogebäude umfasst. Die Kesselgrundleistung beträgt pro Bauabschnitt etwa 500 kW. Die Mittel- und Spitzenlast wird über Gas- Niedertemperatur- Kessel gedeckt.

Das Erdgas- BHKW wird so ausgelegt, dass die Grundlast (Warmwasserbereitung und Netzverluste) gedeckt wird. Der im BHKW erzeugte Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist und mit den Stromkosten für den Eigenbedarf (siehe Energiekosten Variante 3) verrechnet (siehe Bild 82).

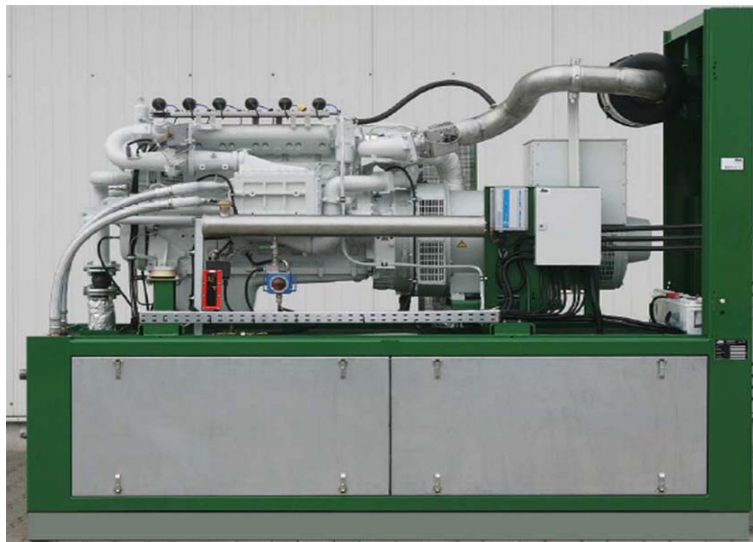


Bild 82 BHKW „2G - KWK - 400 EG“, Quelle: 2G Energietechnik GmbH

Der Lageplan der geplanten Siedlung (Ausschnitt) und das Anlagenschema für Variante 3 wird in Bild 83 und Bild 84 dargestellt.

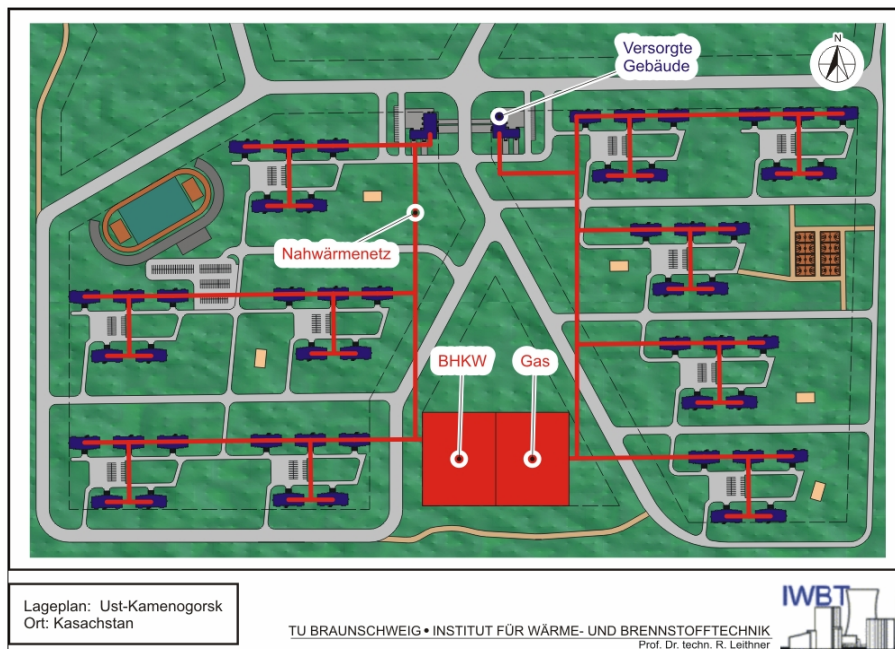


Bild 83 Zentrale Versorgung der Siedlung mit Erdgas- BHKW

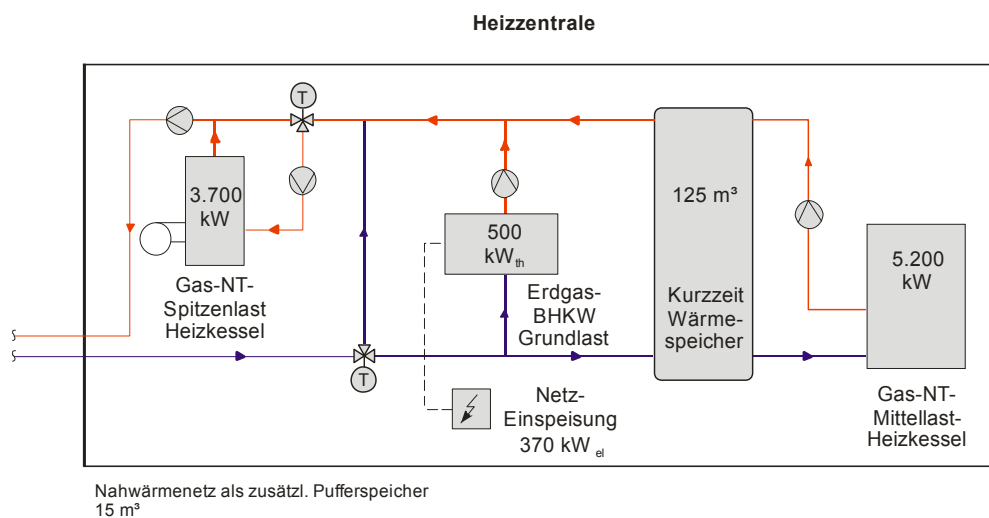


Bild 84 Anlagenschema der Variante 3 im Detail – Ausführungsbeispiel hier mit Erdgas-BHKW

Die gesamte Technik zur Erdgasnutzung befindet sich im schallgedämmten Erdgas- BHKW-Container. In folgender Tabelle sind die wesentlichen technischen Kenndaten für das Erdgas- BHKW aufgeführt.

Typ	“Deutz Power Systems TCG 2015 V 8“
Gesamtfeuerungsleistung	1.045 kW
Kraftstoffverbrauch	9,0 MJ/kWh
Gasverbrauch	104,5 m³/h
Kühlwasserwärme + Abgaswärme (bei Kühlung bis 120°C)	513 kW
Abgaseintrittstemperatur	440°C
Vorlauftemperatur Heizkreis	90°C
Rücklauftemperatur Heizkreis	70°C
elektrische Leistung	400 kW
Wirkungsgrad, elektrisch	38,3 %
Wirkungsgrad, thermisch	49,1 %
Wirkungsgrad BHKW	87,4 %

Tabelle 16 Zusammenstellung der BHKW- Kenndaten

Die erforderliche Heizleistung von maximal 9.400 kW für einen Bauabschnitt ist in folgendem Bild 85 aufgeführt. Die Jahresdauerlinie wurde auf der Basis der Wetterdaten von Ust-Kamenogorsk ermittelt.

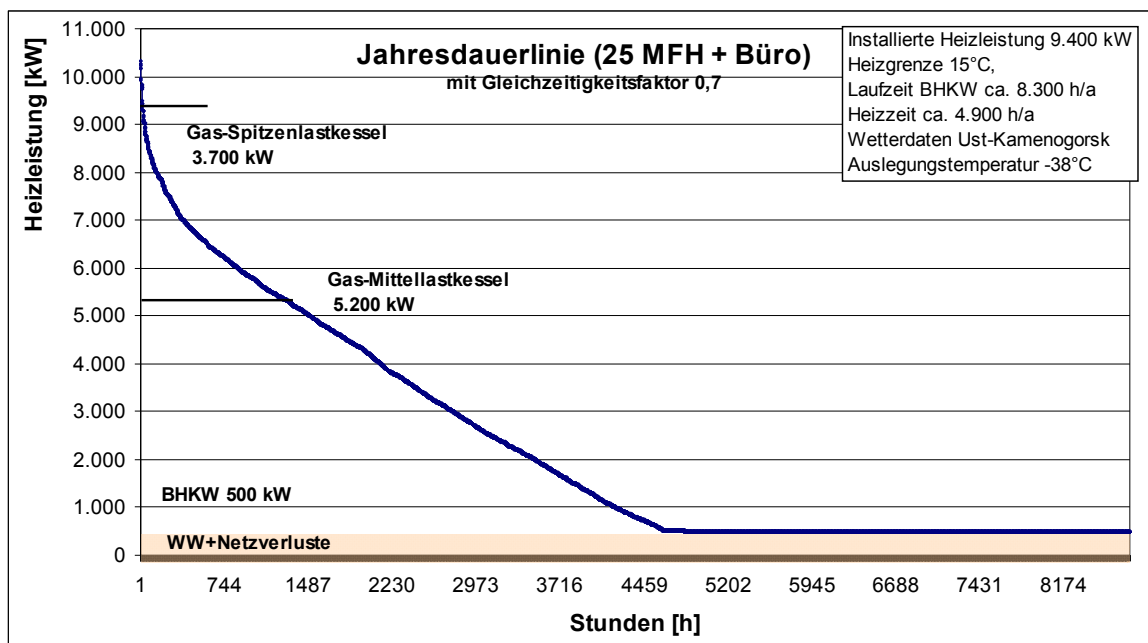


Bild 85 Jahresdauerlinie für Dämmstandard EnEV, Aufteilung entsprechend Variante 3

Eine Kostenaufstellung bezüglich der einmaligen Investitionen und der jährlich anfallenden Kosten für Kapital, Wartung, Instandsetzung und Energie erfolgt in nachfolgender Tabelle 17 und in den Tabelle A16 und in den Tabelle A23 des Anhangs.

		dezentral Var. 3 A EnEV
Wohnfläche	m ²	143.985
Nutzfläche A _N (nach EnEV)	m ²	238.372
Wohneinheiten	WE	1.300
Gesamtwärmebedarf	MWh/a	28.344
Heisanlage(n)	T€	1.398
Solaranlage	T€	
Nahwärmenetz	T€	902
Hausübergabestation	T€	292
WDVS	T€	17.170
Investitionen Wärmeversorgung gesamt	T€	19.762
Investitionen Wärmeversorgung ohne WDVS	T€	2.592
<u>Jahresgesamtkosten</u>		
Kapitalkosten	T€ / a	186
Kapitalkosten mit WDVS	T€ / a	1.440
Instandsetzung, Wartung, Betrieb	T€ / a	60
Instandsetzung, Wartung, Betrieb mit WDVS	T€ / a	89
Energiekosten	T€ / a	1.544
Jahresgesamtkosten	T€ / a	1790
Jahresgesamtkosten mit WDVS	T€ / a	3.073
Wärmekosten 	€/MWh	63
Wärmekosten mit WDVS	€/MWh	108

Tabelle 17 Investitions- Jahresgesamtkosten – Variante 3

Die Kosten für die MSR-Technik, sowie Abgasanlage und hydraulischer Einbindung der Kessel und des Erdgas- BHKWs im Container mit Stromeinspeisung sowie die Stromvergütung werden berücksichtigt. Der erforderliche Gasanschluss wird im Rahmen der Kostenermittlung (Excel-Formular) in allen Varianten berücksichtigt, jedoch zu 0€ gesetzt, da die Preise je nach Versorgungsunternehmen stark variieren.

7.4.8 Variante 4 – Zentrale solarunterstützte Wärmeerzeugung mit fester Biomasse und Kurzzeit-Wärmespeicher

Die Ausführung dieser Variante wird aufgrund der großen erforderlichen Leistung für jeweils einen Bauabschnitt vorgesehen, der 25 Wohngebäude und 1 Bürogebäude umfasst. Die

Kesselleistung beträgt pro Bauabschnitt etwa 500 MW (Grundlast). Die Mittel- und Spitzenlast wird über Gas- Niedertemperatur- Kessel gedeckt.

Die Grundlast (Warmwasserbereitung und Netzverluste) von ca. 500 MW wird durch einen entsprechend dimensionierten Holzpellet- Heizkessel gedeckt.

Die Warmwasserbereitung wird in den Sommermonaten durch eine thermische Solaranlage mit Drain- Back-System unterstützt. Die Flachkollektoren werden auf dem Dach der Heizzentrale und auf den heizzentralenahen Dächern platziert. Neben der Heizzentrale wird der Kurzzeitwärmespeicher aufgestellt bzw. unterirdisch involviert.

Der Lageplan der geplanten Siedlung (Ausschnitt) und das Anlagenschema für Variante 4 wird in Bild 86 und Bild 87 gezeigt.

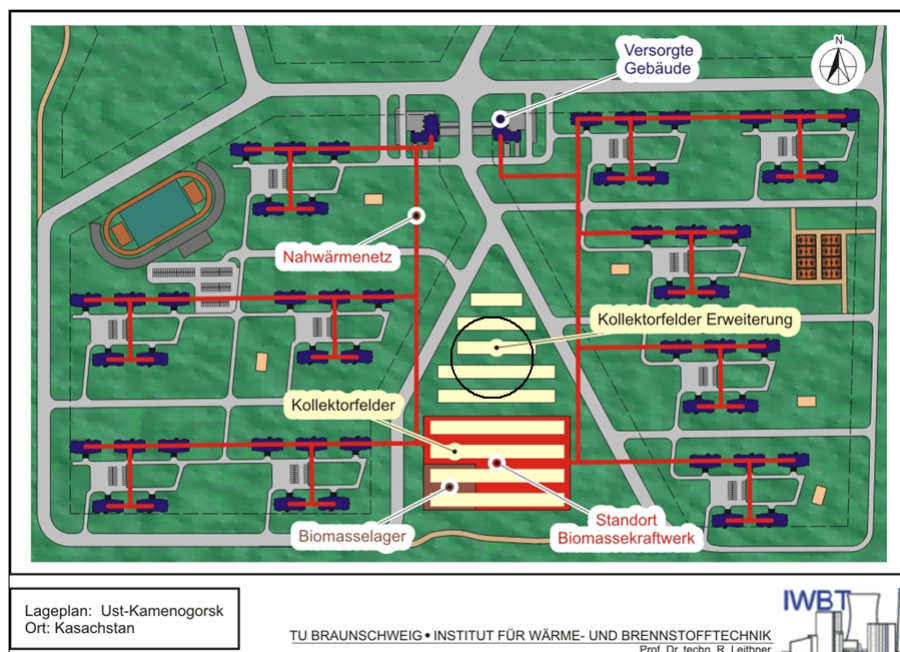


Bild 86 Plan der Siedlungen mit Holzpellet- Heizkessel zzgl. einer thermischen Solaranlage und Kurzzeitwärmespeicher

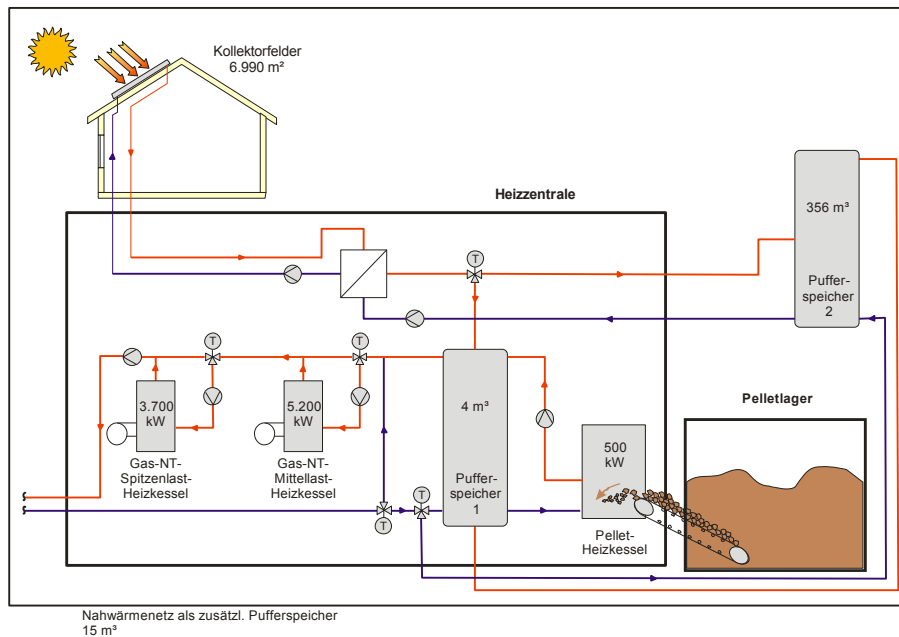


Bild 87 Anlagenschema – Variante 4

Die erforderliche Heizleistung von maximal 9.400 kW für einen Bauabschnitt ist aus dem folgenden Bild 88 ersichtlich.

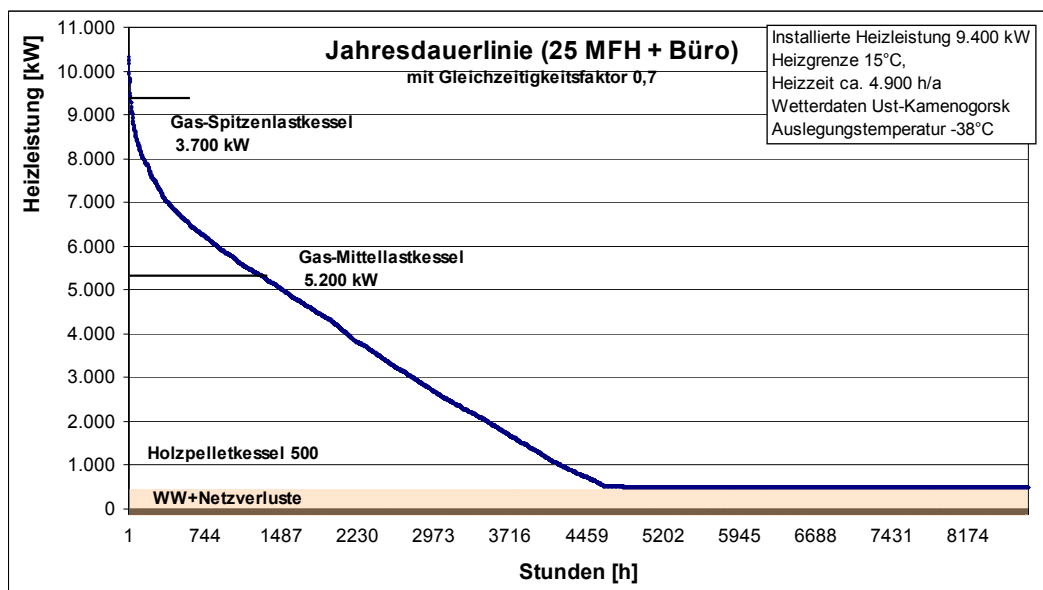


Bild 88 Jahresdauerlinie für Dämmstandard EnEV, Aufteilung entsprechend Variante 4

Eine Kostenaufstellung bezüglich der einmaligen Investitionen und der jährlich anfallenden Kosten für Kapital, Wartung, Instandsetzung und Energie erfolgt in nachfolgender Tabelle 18, in den Tabelle A17 und in den Tabelle A24 des Anhangs.

		dezentral
		Var. 4 A
		EnEV
Wohnfläche	m ²	143.985
Nutzfläche A _N (nach EnEV)	m ²	238.372
Wohneinheiten	WE	1.300
Gesamtwärmebedarf	MWh/a	28.344
Heisanlage(n)	T€	1.383
Solaranlage	T€	2.957
Nahwärmenetz	T€	902
Hausübergabestation	T€	292
WDVS	T€	17.170
Investitionen Wärmeversorgung gesamt	T€	22.705
Investitionen Wärmeversorgung ohne WDVS	T€	5.535
<u>Jahresgesamtkosten</u>		
Kapitalkosten	T€ / a	454,5
Kapitalkosten mit WDVS	T€ / a	1.709,2
Instandsetzung, Wartung, Betrieb	T€ / a	87,7
Instandsetzung, Wartung, Betrieb mit WDVS	T€ / a	116,6
Energiekosten	T€ / a	1.578
Jahresgesamtkosten	T€ / a	2208
Jahresgesamtkosten mit WDVS	T€ / a	3.491
Wärmekosten 	€/MWh	78
Wärmekosten mit WDVS	€/MWh	123

Tabelle 18 Investitionskosten –und Jahresgesamtkosten – Variante 4

Die Kosten für die MSR-Technik, sowie Abgasanlage und hydraulischer Einbindung der Gas-NT- Kessel und des Holzpellet- Heizkessels mit Pufferspeicher und automatischer Beschickung, der thermischen Solaranlage sowie des Kurzzeitwärmespeichers werden berücksichtigt. Der erforderliche Gasanschluss wird im Rahmen der Kostenermittlung (Excel-Formular) in allen Varianten berücksichtigt, jedoch zu 0€ gesetzt, da die Preise je nach Versorgungsunternehmen stark variieren.

7.4.9 Variante 5 – Zentrale solarunterstützte Wärmeerzeugung mit Erdgas und Langzeit- Wärmespeicher

Die Ausführung dieser Variante wird aufgrund der großen erforderlichen Leistung für jeweils einen Bauabschnitt vorgesehen, der 25 Wohngebäude und 1 Bürogebäude umfasst. Die Kesselgrundleistung beträgt pro Bauabschnitt etwa 500 kW. Die Grundlast (Warmwasserbereitung und Netzverluste) wird durch einen entsprechend dimensionierten Erdgas- NT-

ein. Die Auslegungsparameter, die für die Simulation des Langzeit - Wärmespeichers verwendet werden sind in Tabelle 19 zusammengefasst.

Mindestanzahl Wohneinheiten	ca. 200 – 250 Wohneinheiten mit je 70 m ² Wohnfl./WE
Kollektorfläche	1,2 – 2,5 m ² pro MWh Gesamt-Wärmebedarf ≈ 0,14 - 0,20 m ² pro m ² Wohnfl.
Speichervolumen (Wasseräquivalent)	1,5 – 2 m ³ pro m ² Kollektorfläche
Volumenstrom i. Kollektorfeld	10 – 15 l/h pro m ² Kollektorfl.
Solarer Deckungsanteil	40 – 60% Raumheizung + Warmwasser
Jährlicher Solarertrag	270 – 350 kWh/(m ² ·a)

Tabelle 19 Kenndaten zur Auslegung von Solaranlagen mit Langzeit-Wärmespeicher [Bine1]

Die Flachkollektoren mit einer Wärmelieferung von 415 kWh/m²a [TRNSYS Simulation] werden auf dem Dach der Heizzentrale und auf heizzentralenahen Dachflächen platziert. Die von den Sonnenkollektoren gewonnene Wärme wird indirekt über das Solarnetz in den unterirdisch involvierten Langzeitwärmespeicher transportiert und bei Bedarf an die Gebäude verteilt.

In Bild 90 ist schematisch die Einbindung des Langzeit-Wärmespeichers und die Verteilung über die Nahwärmeleitung dargestellt.

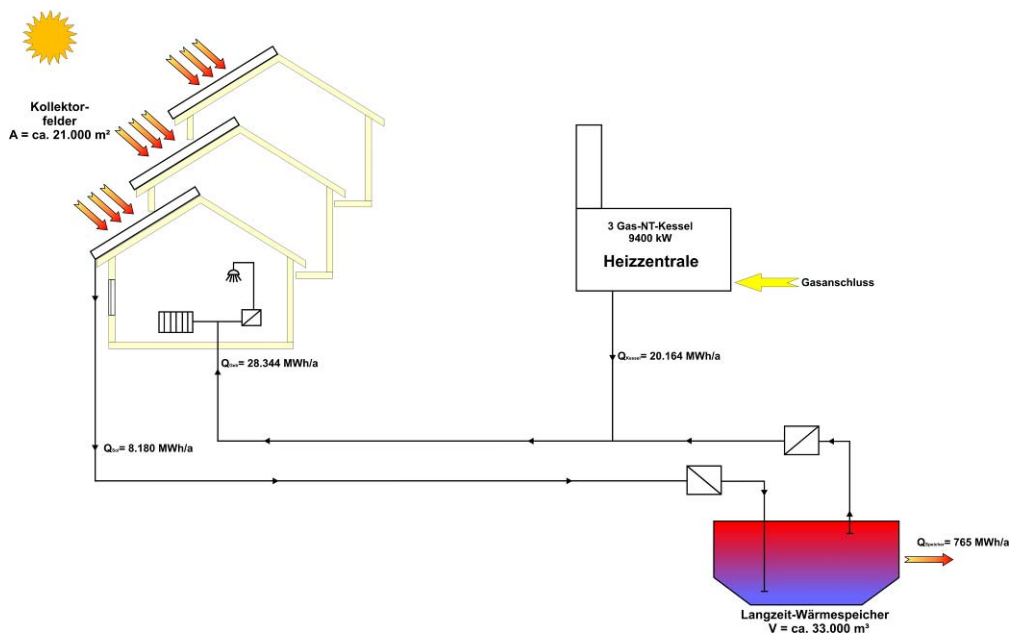


Bild 90 Anlagenschema für solar unterstützte Nahwärmesysteme mit Langzeitwärmespeicher

Durch die Nutzung eines Langzeit-Wärmespeichers könnte eventuell auf einen Gas-NT Spitzenlastkessel verzichtet werden, wenn der Gas-NT- Mittellastkessel die benötigte Spitzenleistung sicher immer in den Wärmespeicher rechtzeitig einspeichert oder relativ niedrige Raumtemperaturen im Notfall akzeptiert werden. Die Betriebstunden im Mittellastbereich erhöhen sich dem entsprechend. Die erforderliche Heizleistung von maximal 9.400 kW für einen Bauabschnitt ist aus dem folgenden Bild 91 ersichtlich.

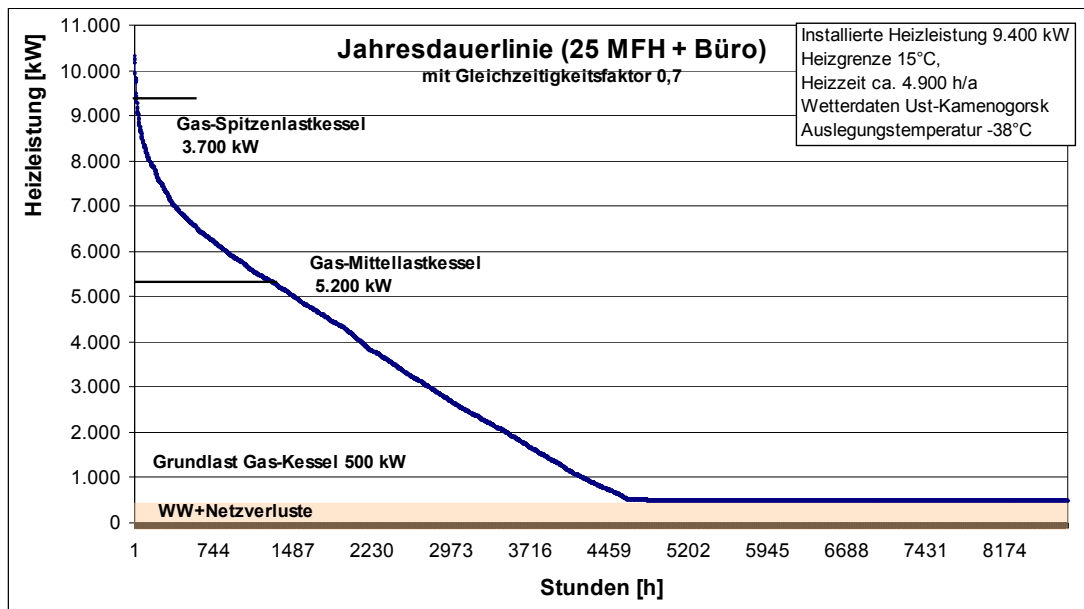


Bild 91 Jahresdauerlinie für Dämmstandard EnEV, Aufteilung entsprechend Variante 5

Eine Kostenaufstellung bezüglich der einmaligen Investitionen und der jährlich anfallenden Kosten für Kapital, Wartung, Instandsetzung und Energie erfolgt in nachfolgender Tabelle 20, in den Tabelle A18 und in den Tabelle A25 des Anhangs.

		dezentral
		Var. 5 A
		EnEV
Wohnfläche	m ²	143.985
Nutzfläche A _N (nach EnEV)	m ²	238.372
Wohneinheiten	WE	1.300
Gesamtwärmebedarf	MWh/a	28.344
Heisanlage(n)	T€	906
Solaranlage	T€	9.188
Nahwärmenetz	T€	902
Hausübergabestation	T€	292
WDVS	T€	17.170
Investitionen Wärmeversorgung gesamt	T€	28.458
Investitionen Wärmeversorgung ohne WDVS	T€	11.288
<u>Jahresgesamtkosten</u>		
Kapitalkosten	T€ / a	959,7
Kapitalkosten mit WDVS	T€ / a	2.214,4
Instandsetzung, Wartung, Betrieb	T€ / a	166,7
Instandsetzung, Wartung, Betrieb mit WDVS	T€ / a	195,6
Energiekosten	T€ / a	1.316
Jahresgesamtkosten	T€ / a	2.442
Jahresgesamtkosten mit WDVS	T€ / a	3.726
Wärmekosten 	€/MWh	89
Wärmekosten mit WDVS	€/MWh	131

Tabelle 20 Investitionskosten –und Jahresgesamtkosten – Variante 5

Die Kosten für die MSR- Technik, sowie Abgasanlage und hydraulischer Einbindung der Gas-NT-Kessel, der thermischen Solaranlage sowie des Langzeit-Wärmespeichers werden berücksichtigt. Der erforderliche Gasanschluss wird im Rahmen der Kostenermittlung (Excel-Formular) in allen Varianten berücksichtigt, jedoch zu 0€ gesetzt, da die Preise je nach Versorgungsunternehmen stark variieren.

In den Kosten sind weiterhin die Investitionen für die Solaranlage und den Langzeitwärmespeicher sowie die Jahresgesamtkosten berücksichtigt. Alle verwendeten Kosten für den Langzeitwärmespeicher und die Kollektoranlage werden aus spezifischen Kosten bereits bestehender Anlagen mit Langzeit-Wärmespeicher gemittelt, siehe Tabelle 21 und Bild 92. Die Aufteilung der Investitionskosten einer solarunterstützten Wärmeversorgung ist in Bild 93 dargestellt.

Standort	Kosten Kollektor- fläche	Kollektorfläche	Langzeitwärme- Speicher	Speichervolumen
Hamburg - Bramfeld	307 € / m ²	3.000 m ²	207 € / m ³	4.500 m ³
Hannover - Kronsberg	245 € / m ²	1.473 m ²	243 € / m ³	2.750 m ³
Friedrichshafen	200 € / m ²	4.430 m ²	135 € / m ³	12.000 m ³

Tabelle 21 Volumen – und Flächenbezogene Investitionskosten von Anlagen mit Langzeitwärmespeicher [Nahw]

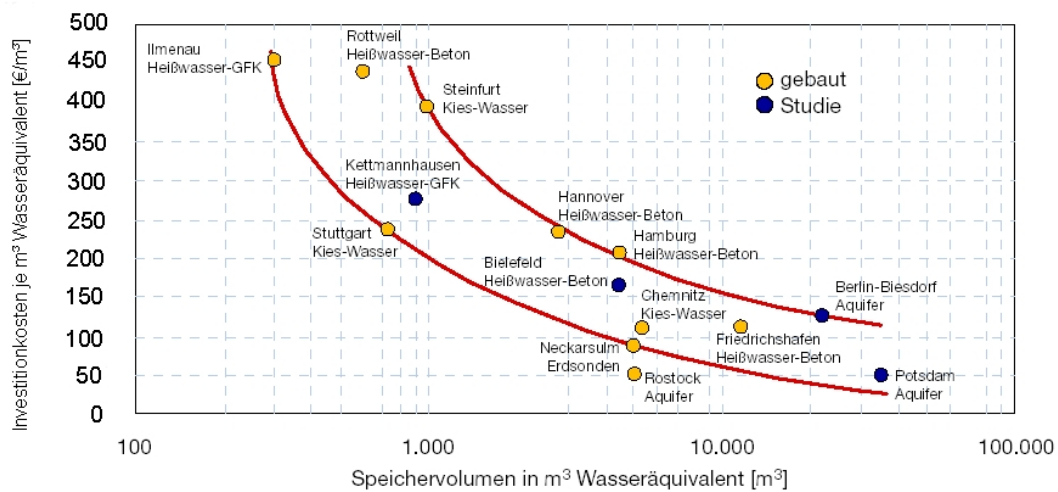


Bild 92 Aufteilung der mittleren spez. Systemkosten der in „Solarthermie 2000“ (TP2) erbauten Langzeitwärmespeicher [Bine1]

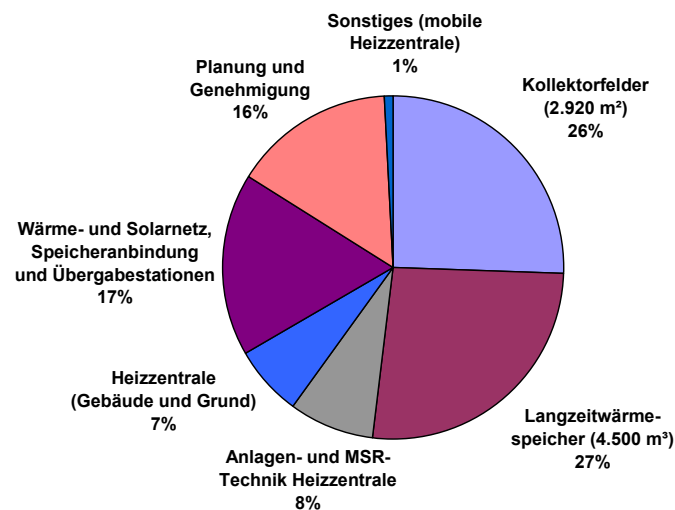


Bild 93 Kostenverteilung solarunterstützte Wärmeversorgung am Beispiel Hamburg Bramfeld [Nahw]

8 Vergleich und Bewertung der Energieversorgungsvarianten

8.1 Energetische Betrachtung

Die spezifischen Wärmekosten sind die Jahresgesamtkosten bezogen auf die Nutzwärme für Heizung und Warmwasserbereitung ab Heizzentrale also einschließlich der Wärmeverluste der Verteilnetze (des Fernwärmenetzes und der dezentralen Verteilnetze). Bei dezentraler Versorgung erfolgt der Bezug auf den Gesamtenergiebedarf Raumheizung und Warmwasser des Gebäudes einschließlich der Verluste des dezentralen Verteilnetzes. Im Bild 94 und Bild 95 sind die Wärmekosten für unterschiedliche Wärmedämmung der Gebäude dargestellt. Es zeigt sich, dass die Variante 3 (Grundlast: Erdgas- BHKW) zu den günstigsten Wärmekosten führt, gefolgt Variante 4 (Holzpellet).

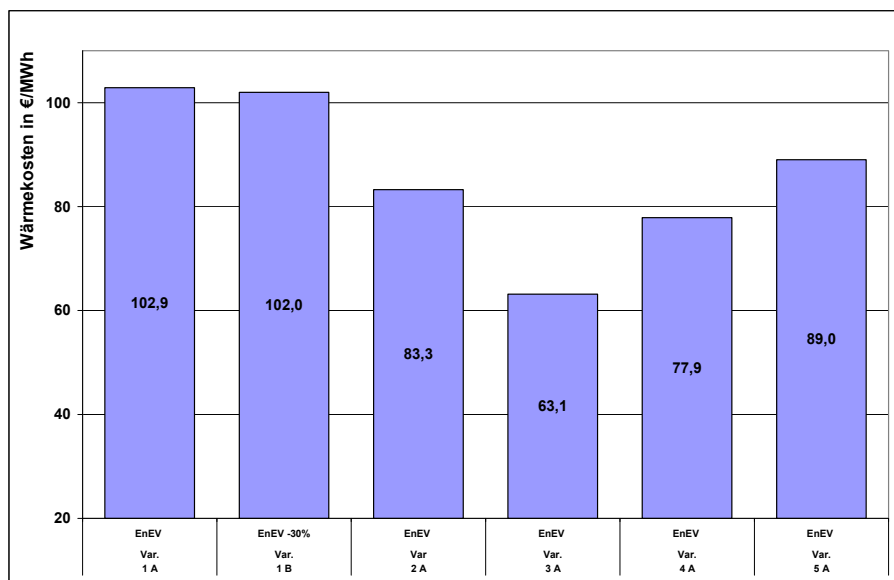


Bild 94 Wärmekosten für alle Varianten ohne Berücksichtigung der Kosten für die Wärmedämmung

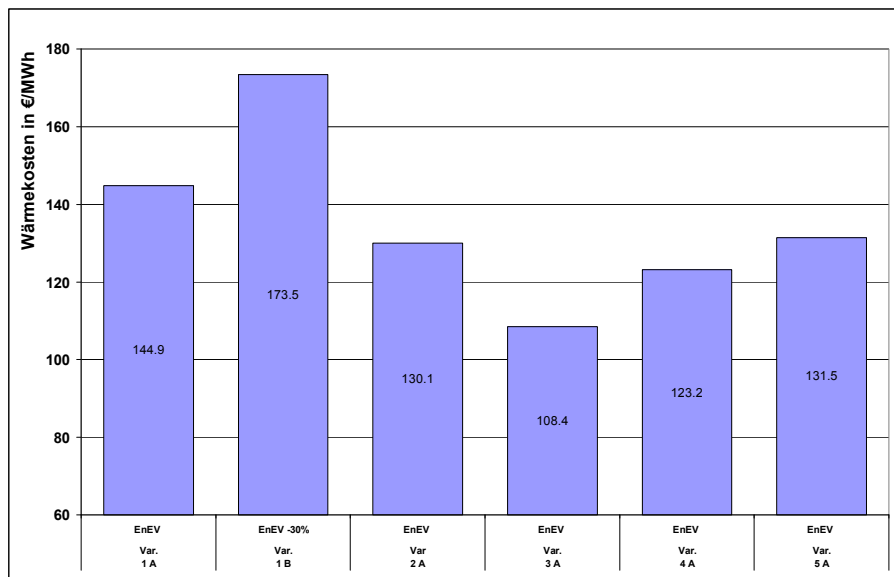


Bild 95 Wärmekosten der Varianten mit Berücksichtigung der Kosten für die Wärmedämmung

Wie das folgende Diagramm (Bild 96) zeigt, weist die zentrale Fernwärmeversorgungsvariante (Variante 1) wegen der Verluste des Fernwärmenetzes immer einen größeren Bedarf an Primärenergie als alle anderen Varianten auf. Den geringsten Primärenergiebedarf hat die Versorgungsvariante 4 mit regenerativen Energieträgern und Gebäudedämmstandard nach EnEV. In Bild 96 sind ebenfalls der End- und der Nutzenergiebedarf dargestellt. Die Primärenergiefaktoren sind der [DIN V 4701–10] A1:2006-12 entnommen.

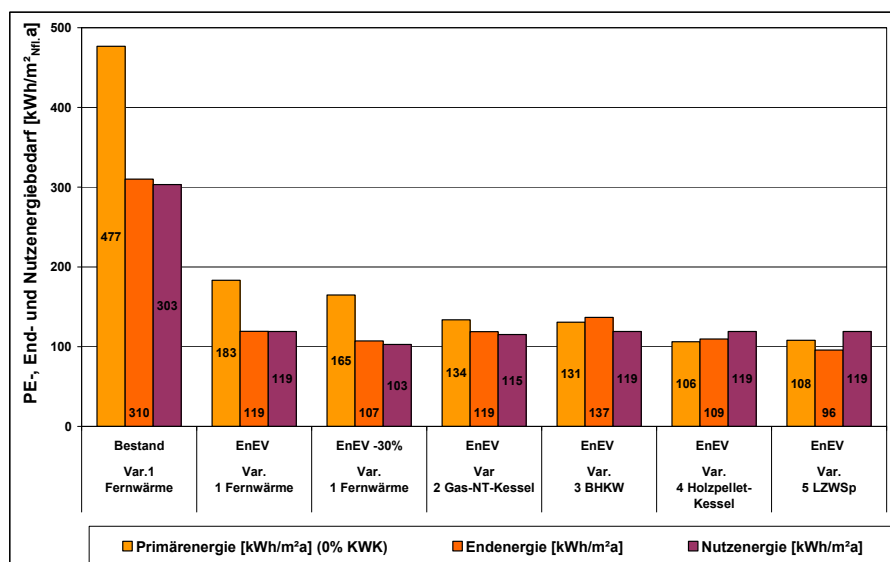


Bild 96 Primär-, End- und Nutzenergiebedarf nach EnEV- Standard

8.2 Ökologische Betrachtung

Den mit Abstand höchsten Brennstoffbedarf hat das Bestandsgebäude aufgrund der hohen Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehüllfläche. Werden die Gebäude mit einem kostenintensiveren Wärmedämmstandard nach EnEV-30% ausgestattet, sind die Kosten für den erforderlichen Brennstoff am geringsten. Erfolgt der ökologische Vergleich unter Verwendung verschiedener Anlagentechniken mit gleichem Wärmedämmstandard (EnEV-Standard), ist der Brennstoffbedarf bei der Versorgungsvariante mit fester Biomasse zzgl. einer Solaranlage in Kombination mit Kurzzeitwärmespeicher am geringsten.

Die Wärmeversorgungsvarianten, die sich als wirtschaftlich erwiesen haben, schneiden beim ökologischen Vergleich am schlechtesten ab.

Grundlage für die Berechnung der CO₂-Emissionen in dieser Arbeit sind ausgewählte CO₂-Äquivalente [Kumulier], abhängig vom eingesetzten Brennstoff.

Im nachfolgenden Bild 97 sind der Brennstoffbedarf und die CO₂-Emissionen in [t/a] dargestellt. Für die Versorgungsvariante 1 (Wärmeversorgung mit Fernwärme unter Berücksichtigung der KWK im Kohlekraftwerk und ohne Berücksichtigung der KWK) sind die CO₂-Emissionen für zwei Wärmedämmstandards gegenübergestellt. Eine Abhängigkeit der CO₂-Emissionen vom Dämmstandard ist zu erkennen.

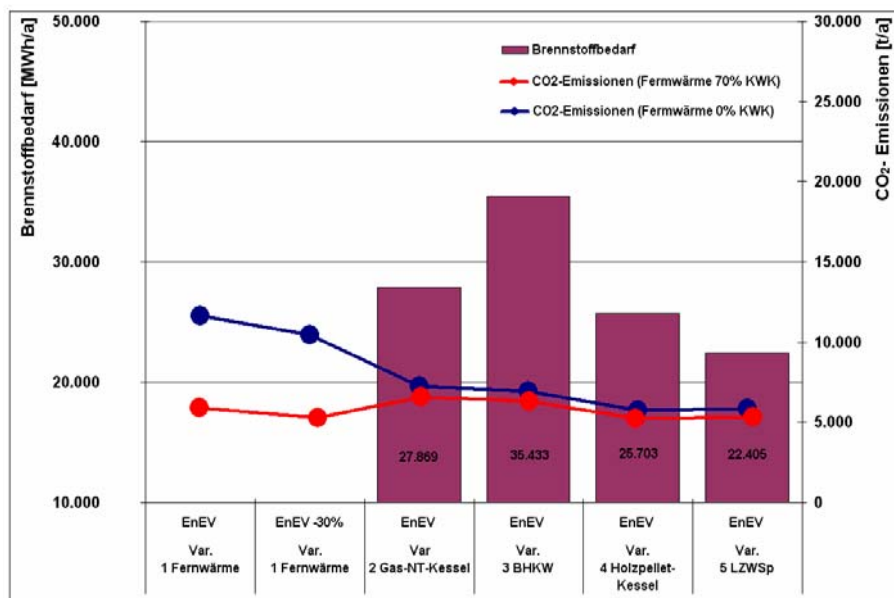


Bild 97 Brennstoffbedarf und CO₂-Emissionen für die 2 Dämmstandardvarianten (EnEV und EnEV-30%) und für Fernwärme ohne KWK- Anteil, Fernwärme mit 70% KWK- Anteil und BHKW Variante mit Stromgutschrift

Als Beurteilungsgröße für ökologische Kriterien wird der Primärenergieaufwand herangezogen. Insgesamt führt die Variante 2 (Gas-NT-Kessel) mit Maßnahmen im baulichen Wärmeschutz zu einer Reduzierung des Brennstoffbedarfs. Die Kombination Holz und Solar ergibt eine weitere Reduzierung im Bereich der CO₂ Emissionen.

8.3 Wirtschaftliche Betrachtung

Für die zuvor beschriebenen Wärmeversorgungsvarianten werden die Investitionskosten sowie die Jahresgesamtkosten nach [VDI 2067] ermittelt. Dabei werden die Kosten für die technischen Komponenten ebenso berücksichtigt, wie bauliche Kosten für den Raumbedarf der Heizzentralen, Brennstofflager und Planungskosten. Weiterhin sind in jeder Position 6% bzw. 10% „Unvorhergesehenes“ einkalkuliert. Alle angegebenen Preise enthalten nicht die gesetzliche Mehrwertsteuer.

Die Brennstoffkosten werden mit aktuellen Energiepreisen berechnet. Kostensteigerungen sind hierbei nicht berücksichtigt, da sie in ihrer Höhe nicht absehbar sind. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird von einem Zinssatz von 6% ausgegangen.

Die Nutzungsdauer der Anlagenteile wird nach [VDI 2067] bzw. erwartbarer Nutzungsdauer (wenn in [VDI 2067] nicht explizit enthalten) angesetzt. Die resultierenden Kosten der Wärmeversorgung sind Wärmegestehungskosten.

Förderung. Für die verschiedenen Wärmeversorgungsvarianten sind Förderungen in Deutschland möglich. In Kasachstan sind ähnliche Förderprogramme noch nicht vorhanden und werden daher auch nicht berücksichtigt.

Investitionen. Nachfolgend werden jeweils die Investitionskosten aller Varianten der Wärmeversorgung in Abhängigkeit vom Dämmstandard (EnEV) betrachtet.

Die geringsten Investitionen sind bei der Versorgung mit Fernwärme zu erwarten. Bei der dezentralen Versorgung mit Gas- NT-Kessel erhöhen sich die Kosten auf 2.344 T€ durch den Einsatz mehrerer Kessel. Für die zentrale Versorgung mittels eines Holzpellet- Kessels erhöhen sich die Gesamtinvestitionskosten im Vergleich zur zentralen Gas- NT-Kessel Variante auf 5.534 T€, wird zusätzlich in eine thermische Solaranlage mit minimaler Kollektorfläche investiert.

Bild 98, Bild 99 und Bild 100 zeigen die Gesamtinvestitionskosten aufgeschlüsselt nach Kostengruppen bzw. Anlagenteilen für alle Varianten.

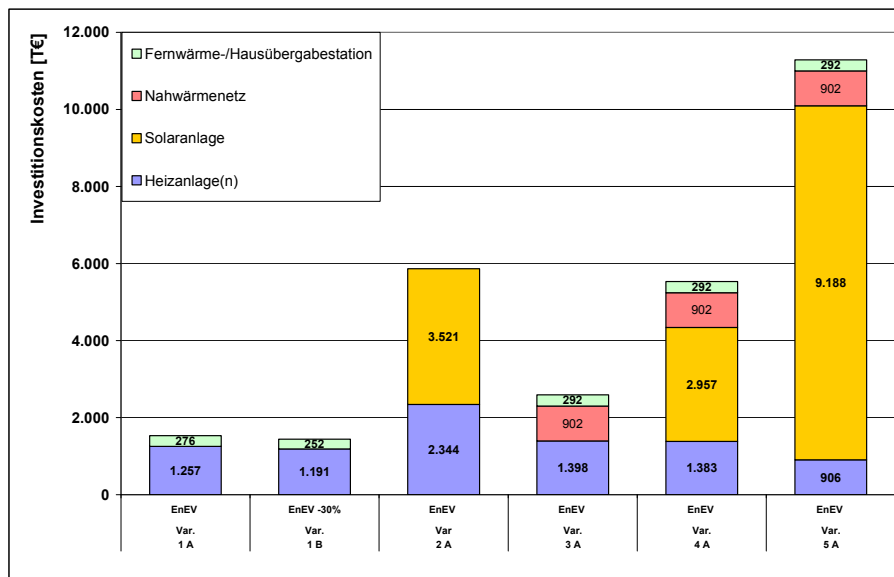


Bild 98 Gesamst-Investitionskosten der verschiedenen Varianten ohne Berücksichtigung der Kosten für die Wärmedämmung

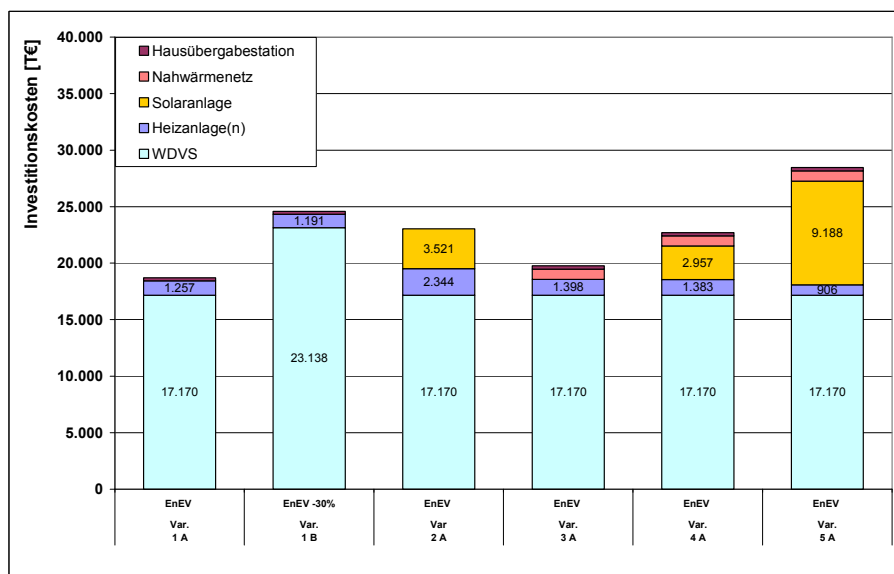


Bild 99 Gesamst-Investitionskosten der verschiedenen Varianten mit Berücksichtigung der Kosten für die Wärmedämmung

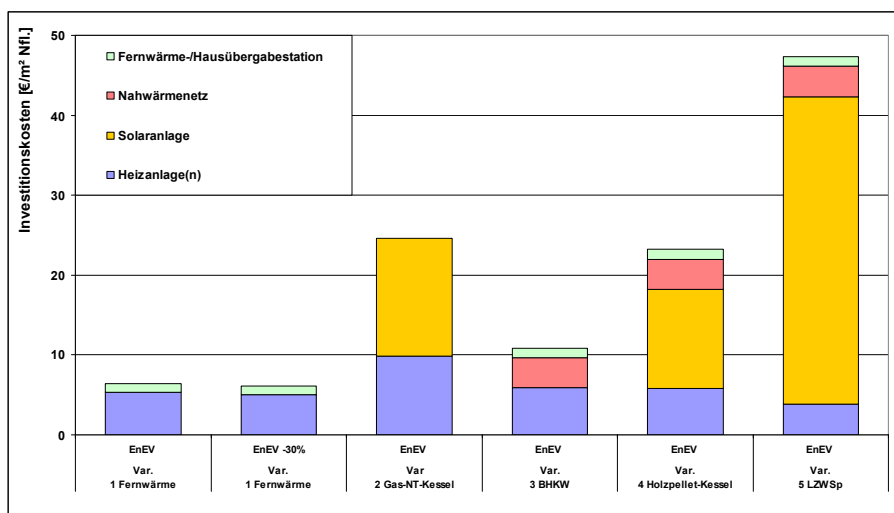


Bild 100 Spezieschen Gesamt-Investitionskosten der verschiedenen Varianten ohne Berücksichtigung der Kosten für die Wärmedämmung

Jahresgesamtkosten. Die jährlichen Gesamtkosten setzen sich aus Kapitalkosten, Instandsetzungs-, Wartungs- und Betriebskosten, sowie den Energiekosten zusammen. Bild 101, Bild 102 und Bild 103 zeigt die Jahresgesamtkosten und die spez. Jahresgesamtkosten für die Wärmeversorgung, aufgeteilt in verschiedenen Rubriken. Berücksichtigt sind auch die Investitionen für die Wärmedämmung.

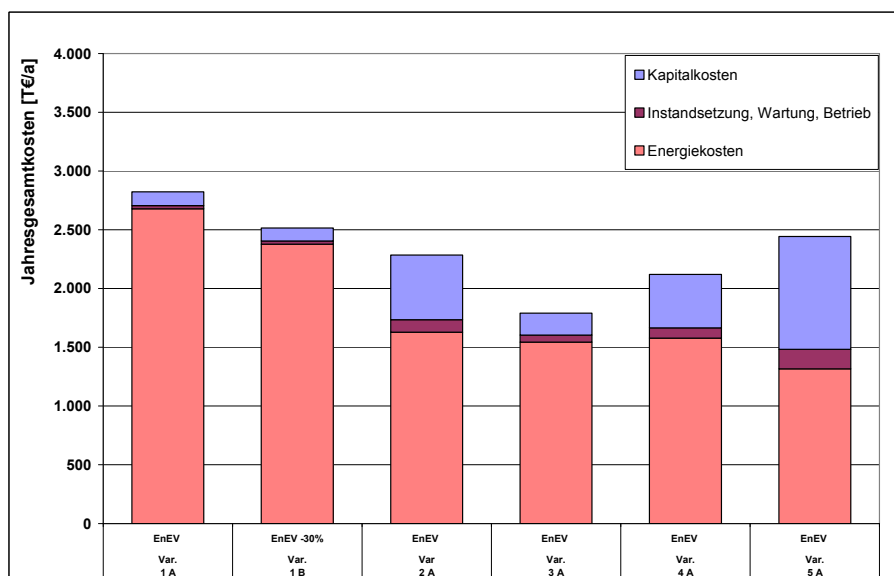


Bild 101 Jahresgesamtkosten der verschiedenen Varianten ohne Berücksichtigung der Kosten für die Wärmedämmung

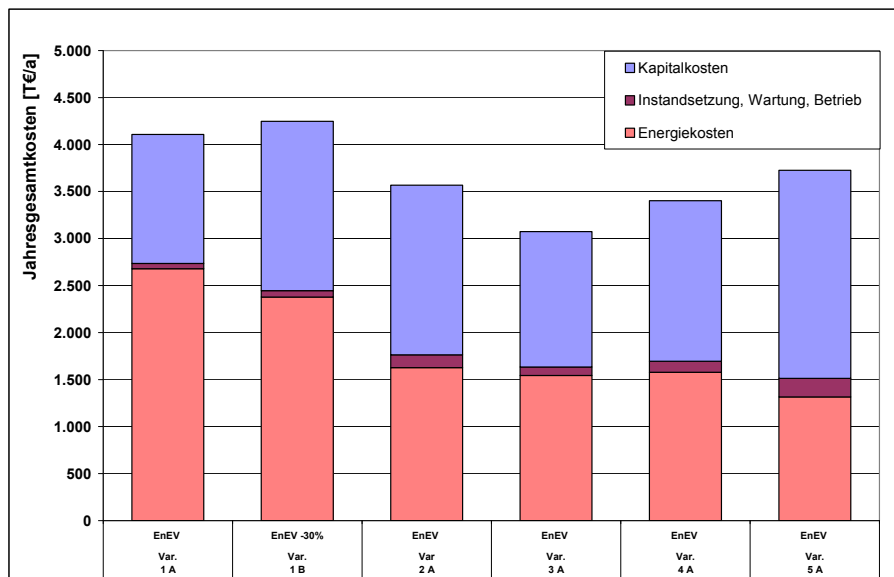


Bild 102 Zusammenstellung der Jahresgesamtkosten der verschiedenen Varianten mit Berücksichtigung der Kosten für die Wärmedämmung

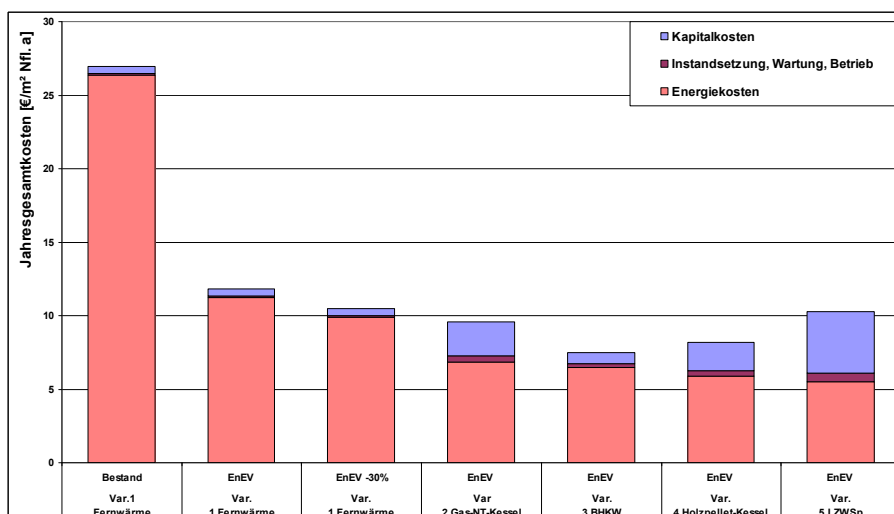


Bild 103 Spezifische Jahresgesamtkosten der verschiedenen Varianten ohne Berücksichtigung der Kosten für die Wärmedämmung

Bei den Varianten ohne zusätzliche Wärmedämmung übersteigen die Energiekosten deutlich die Kapitalkosten. Bei Betrachtung der einzelnen Varianten der Wärmeversorgung ist die Versorgung mittels Erdgas- BHKW (Variante 3) die günstigste, gefolgt von der Versorgung mittels Holzpellet- Kessel (Variante 4).

Für die langfristige Planung des Umbaus sind Betrachtungen in Richtung zukünftiger Energiepreissteigerungen erforderlich.

Bild 104 zeigt die Jahresgesamtkosten für die verschiedenen Varianten bei einer Preissteigerung von 5% für Holzpellets als auch für Erdgas und Strom. Die Variante 5 mit Solarthermie und Langzeit- Wärmespeicher rentiert sich nach etwa 9 Jahren im Vergleich zur dezentralen Versorgungsvariante (Variante 2) trotz der immens hohen Investitionskosten.

Die direkte Kosteneinsparung der Jahresgesamtkosten in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff ist erkennbar.

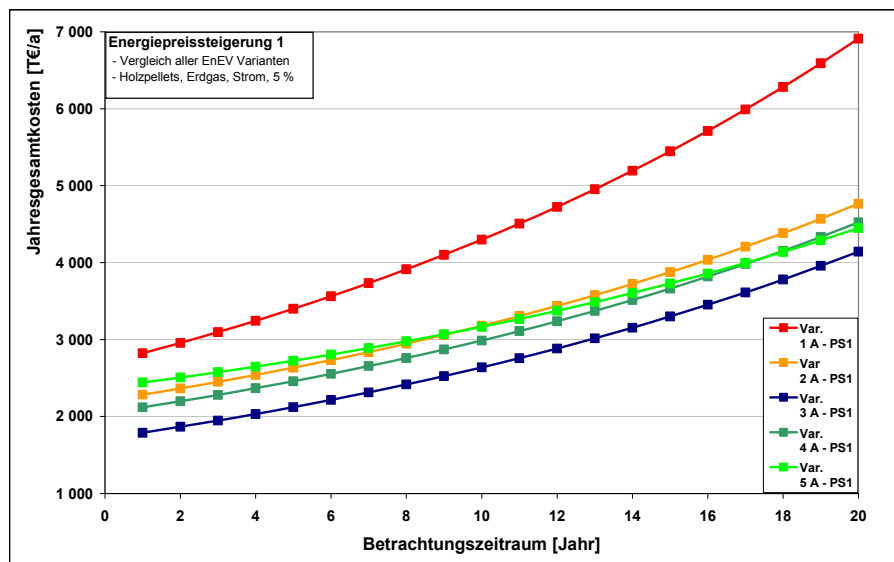


Bild 104 Diagramm Preissteigerung 5%

8.4 Vergleichende Bewertung

Die derzeit versorgten Gebäude in Ust-Kamenogorsk werden über ein weit verzweigtes Fernwärmenetz versorgt. Die Wärme wird in einem Heizwerk erzeugt, welches ohne Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) betrieben wird. Das Heizwerk hat die kalkulierte Lebensdauer bereits weit überschritten und muss bald ersetzt werden. Die Anlage ist derzeit noch im Betrieb. Eine neue Anlage mit KWK oder die anderen beschriebenen Varianten würden zu wesentlichen Energieeinsparungen führen.

Für die neue Siedlung mit 5 Bauabschnitten ist ein neues kohlebefeuertes Kraftwerk mit KWK und moderner Filter- und Anlagentechnik vorgesehen. Die dafür notwendigen Kosten werden in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt.

Ziel geringe Investitionskosten: Wird die Variante 1 (Bestand, Fernwärme) weiterbetrieben, ist derzeit sind keine Investitionskosten erforderlich. Allerdings treten vermutlich hohe Reparaturkosten auf und der Brennstoffbedarf ist natürlich sehr hoch. Das größte Investitionsvo-

lumen und die damit kostenaufwändigste Variante ist die Versorgungsvariante 5 mit der großen Solaranlage und einem relativ teuren Langzeit-Wärmespeicher.

Ziel geringe Gesamtkosten über Gesamtnutzungsdauer: Um dieses Ziel zu erreichen, sollte die Versorgung über eine Nahwärmeleitung mit einem Erdgas- BHKW (Variante 3) oder Biomasseheizkessel (Variante 4) erfolgen. Über Erdgas- BHKW lassen sich die geringsten Betriebskosten erzielen. Vorteilhaft für Variante 4 ist es, dass eine Preisstabilität des Brennstoffs Biomasse und die damit verbundene Kalkulationssicherheit vorliegen.

Ziel Innovative Wärmeversorgung: Durch die Variante 3 (Erdgas- BHKW mit entsprechender Systemtechnik) könnte eine gleichzeitige Strom- und Wärmeerzeugung realisiert werden. Diese Systemtechnik arbeitet mit einem hohen Wirkungsgrad. Der Strom kann in das vorhandene Stromnetz eingespeist oder für den Eigenbedarf verwendet werden.

Ziel umweltschonende Wärmeversorgung: Die niedrigsten CO₂-Emissionen entstehen bei der zentralen Versorgungsvariante 5 (Solaranlage mit Langzeitwärmespeicher). Die höchsten CO₂-Emissionen sind bei zentraler Versorgung über Fernwärme trotz Kraft-Wärme-Kopplung zu erwarten.

Empfehlung: Bei der Auswahl einer Versorgungsvariante zeigt sich, dass die Versorgung mit Fernwärme bis auf die ökologischen Faktoren (CO₂-Emissionen und Verwendung fossiler Brennstoffe) am geeignetsten ist. Durch den Einsatz regenerativer Energien und eines modernen Heizkraftwerkes, welches neben Wärme zusätzlich elektrische Energie erzeugt, könnte die ökologische Bilanz deutlich verbessert werden. Wenn bei der Auswahl des Brennstoffs statt Erdgas oder Heizöl anteilig nachwachsende Rohstoffe wie Holz oder andere Biomasse verwendet werden würde, wäre dies ein wichtiger Betrag zum Schutz des weltweiten Klimas sein.

9 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Optimierung der Energieversorgung von Städten in Kasachstan am Beispiel des Standortes Ust-Kamenogorsk untersucht. Für einen neu zu errichtenden Wohnbezirk in der Stadt Ust-Kamenogorsk werden verschiedene Varianten von Wärmeversorgungssystemen entwickelt und vergleichend betrachtet. Für die Reduzierung des Heiz-Energiebedarfs der Gebäude werden bauliche und anlagentechnische Maßnahmen kombiniert. Zur Entwicklung zukunftsfähiger und umweltschonender Systemlösungen werden hauptsächlich regenerative Energieträger berücksichtigt. Die zum Teil in Deutschland bereits marktgängigen Konzeptlösungen müssen in Zentralasien erst eingeführt und etabliert werden. Die geringen Energiekosten in Kombination mit dem eingeschränkten Know-how (Planung, Bau und Betrieb) sowie die eingeschränkte Verfügbarkeit der Technik sind die entscheidenden Faktoren, die einer Einführung derzeitiger Wärmeversorgungstechniken entgegenstehen. Mit der Arbeit soll ein Beitrag zur Umsetzung energieeffizienter Wärmeversorgungskonzepte für Gebäude in Zentralasien geleistet werden.

Aufgrund der in Kasachstan verfügbaren großen Öl- und Gasvorkommen werden über 80% der Energieversorgung durch fossile Energieträger gedeckt. Die Wärmeversorgung der städtischen Gebäude wird hauptsächlich durch Fernwärme aus Heizkraftwerken (ohne KWK) realisiert, die in der Regel mit Kohle betrieben werden. Die Kraftwerke sowie die technischen Anlagen der Wärmeverteilung sind großenteils extrem veraltet, was zu einer unsicheren Versorgung sowie hohen Energieverlusten in Erzeugung und Verteilung führt. Im Vergleich zu Deutschland werden sowohl seitens der Energieversorgungsunternehmen und der privaten Haushalte kaum regenerative Energieträger zur Energiebereitstellung genutzt. Das Potential an erneuerbaren Energiequellen (Biomasse (Holz), Solarstrahlung und Geothermie) entspricht bzw. übertrifft das in Deutschland.

Die Wärmedämmung der Gebäude entspricht nicht dem Stand der Technik, viele Gebäude weisen keine Wärmedämmung oder eine beschädigte Wärmedämmung auf. Dies führt in Kombination mit Rissen in den Wänden und undichten Fenstern zu einem erhöhten Wärmeverlust. Die im Vergleich zu Deutschland extremen Witterungsbedingungen (im Sommer bis +35°C und -38°C im Winter) führen zu deutlich höheren Werten des Wärme- und Kältebedarfs.

Die innerhalb dieser Arbeit berücksichtigten Komponenten der Wärme- und Stromversorgung sowie der Lüftungstechnik entsprechen dem deutschen Standard. Neben dezentraler gebäudeweiser Einzelheizsystemen werden Nah- und Fernwärmeanlagen betrachtet. Die Warmwasserheizung ist die gewählte Standardlösung zur Wärmebereitstellung. Technolo-

gien zur thermischen Solarenergienutzung in Groß- und Kleinanlagen sowie zur Kraft-Wärme-Kopplung werden für die Integration regenerativer Energien berücksichtigt.

Als Referenzgebäude für die Untersuchung werden ein Standard-Mehrfamilienhaus mit einer Nutzfläche von 9.430 m² und ein Bürogebäude mit einer Nutzfläche von 2.610 m² berücksichtigt. Die Gebäude sind in Kasachstan errichtet und entsprechen dem derzeitigen Neubau-Standard. Als Wärmeschutzvarianten werden die Bestandssituation, der EnEV/SNIP-Standard sowie ein Standard EnEV/SNIP-30% berücksichtigt. Für die Berechnung der resultierenden Heiz- und Kühllast werden zunächst stationäre Berechnungsprogramme eingesetzt. Im Anschluss werden die Gebäude mit ihrer Anlagentechnik modelliert und unter Berücksichtigung der Klimaparameter dynamisch simuliert. Als Berechnungswerkzeug wird TRNSYS eingesetzt.

Für die Untersuchung von Siedlungen wird ein Mischgebiet aus 25 Mehrfamilienhäusern und einem Bürogebäude zu Grunde gelegt. Diese Gebäude bilden eine Versorgungseinheit und werden über unterschiedliche Systemvarianten mit Wärme versorgt. Neben einer dezentralen Lösung werden 4 zentrale Versorgungssystemen betrachtet.

Variante 1 - Fernwärme, zentral

Variante 2 - Gas-Heizkessel / Solar, dezentral

Variante 3 – Erdgas-BHKW, zentral

Variante 4 – Biomasse-Heizkessel / Solar mit Kurzzeit-Wärmespeicher, zentral

Variante 5 - Gas-Heizkessel / Solar mit Langzeit-Wärmespeicher, zentral

Während die Variante 2 eine häufig in deutschen Städten vorkommenden Lösung entspricht, stellt die Variante 1 eine Standardlösung in Kasachstan dar. Die Wärmeverteilung und -abgabe sowie die Regelung der Heiztechnik entsprechen in den Varianten jeweils dem deutschen Standard. Typische Ausstattungsmerkmale sind z.B. Thermostatventile an den Heizflächen, die in Kasachstan derzeit nicht üblich sind.

Als Referenzvariante wird die Wärmeversorgungsvariante mit Fernwärme (Variante 1) für die drei berücksichtigten Wärmeschutzstandards untersucht. Für die unterschiedlichen Varianten der zentralen Wärmeversorgung werden fossile (Erdgas) und regenerative Brennstoffe (Holzpellets) und Solarwärme betrachtet.

Die Varianten werden energetisch, ökologisch und wirtschaftlich analysiert und bewertet. Hierzu werden auch die flächenbezogenen Energiebedarfskennwerte und die CO₂-Emissionen ermittelt. Die Wirtschaftlichkeit wird mittels einer Vollkostenrechnung auf Basis der VDI 2067 ermittelt.

Die für einige charakteristische Systemvarianten in Verbindung mit dem unterschiedlichen Wärmedämmstandard erzielbaren CO₂- Emissionsreduktionen und Primärenergieeinsparungen sind mit den resultierenden Jahresgesamtkosten in Bild 105 einander gegenübergestellt.

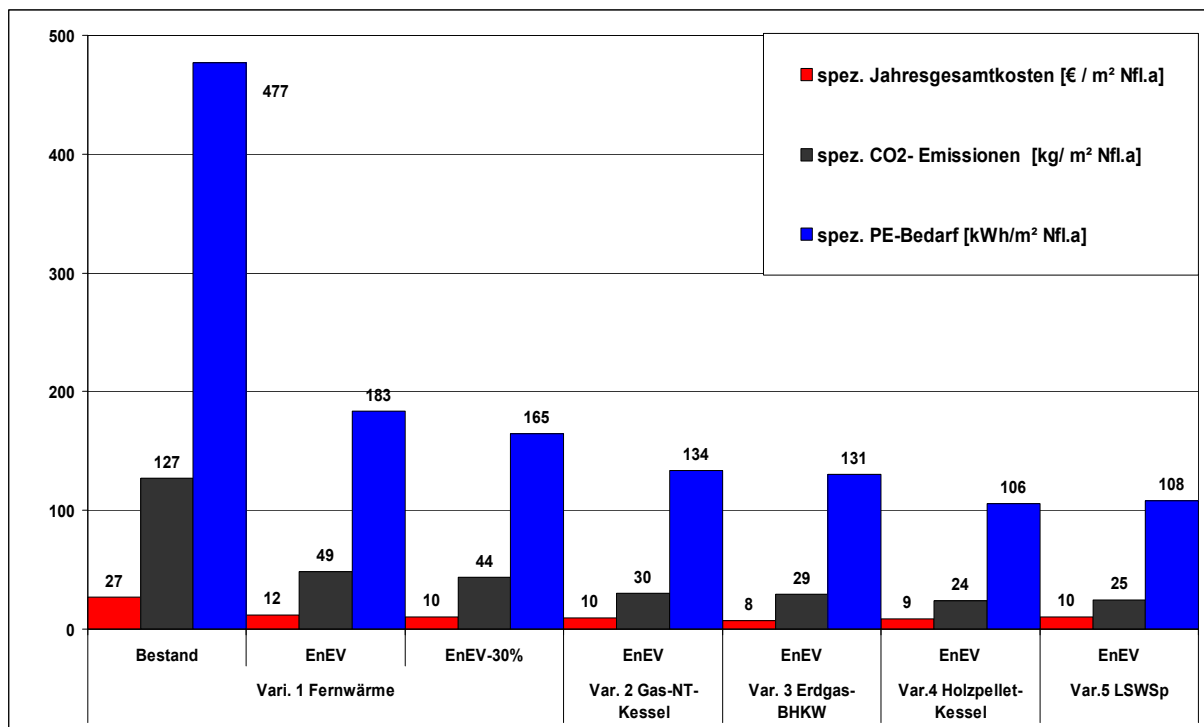


Bild 105 Gegenüberstellung der spez. Primärenergieeinsparung, Emissionsreduktionen und Jahresgesamtkosten charakteristischer Systeme für die betrachteten Dämmstandardvarianten

Der Lösungsansatz mit einem Biomasse-Heizkessel ist neben der Variante mit Erdgas - BHKW sowie der Standard-Fernwärme-Lösung aus wirtschaftlicher Sicht interessant. Unter ökologischen Gesichtspunkten ist der Biomasse-Heizkessel jedoch aufgrund der geringen CO₂-Emissionen die günstigste Lösung. Hinsichtlich des Wärmeschutzstandards der Gebäude zeigt sich ein deutlich überhöhter Wärmebedarf im Bestand gegenüber Gebäuden mit erhöhtem Wärmeschutz. Somit wird deutlich das ein großes energetisches Potential in der Sanierung des Gebäudebestandes liegt.

Für die Umsetzung optimierter Wärmeversorgungssysteme lassen sich folgende wesentliche Aussagen ableiten:

- der Heizwärmeverbrauch im Gebäudebestand ist deutlich überhöht. Die Auswertung der Ergebnisse verdeutlicht die Wichtigkeit bei der Auswahl der Baustoffe für die Gebäudehülle. Bei gleichen Wetterbedingungen ist der Jahres-Heizwärmebedarf des EnEV-30%-Modellgebäudes um 17,8 % (Bürogebäude) und um 13,6% (MFH) geringer als derjenige des EnEV- Gebäudes. Der Jahres-Heizwärmebedarf des Bestandsgebäudes ist um 60

% (Bürogebäude) und um 61 % (MFH) größer als derjenige des EnEV- Gebäudes. Die Anteile des Jahres-Heizwärmebedarfs sind von den Baustoffen der Gebäudehülle abhängig.

- Die Sanierung (Wärmedämmung) des Bestandes ist aus energetischer Sicht sowie hinsichtlich des Nutzerkomforts dringend erforderlich.
- der bisherige Standard der Wärmeversorgung über ein zentrales Kohle-Heizwerk mit angeschlossenem Fernwärmenetz ist zwar mit geringen Investitionskosten, jedoch mit hohen Energiebedarfswerten und CO₂-Emissionen verbunden. Eine wesentliche Verbesserung wäre bereits der Übergang zu kohlegefeuerten Heizkraftwerken. Der Übergang zu holzgefeuerten Heizkraftwerken wäre ein begrüßenswerter, grundsätzlicher Systemwechsel in Richtung regenerativer Energien.
- Innovative regenerative Energieversorgungssysteme sind zwar teuer, doch ökologisch und energetisch vorteilhaft.

Variante 5 weist als technisch aufwändigster Konzeptansatz das größte Investitionsvolumen auf. Begründet liegt dies in der teuren Solaranlage und dem aufwändigem Langzeit-Wärmespeicher. Die niedrigsten CO₂-Emissionen entstehen bei der zentralen Versorgungsvariante 4 (Holzpellet-Kessel). Um das Ziel geringe Gesamtkosten über die Gesamtnutzungsdauer zu erreichen, sollte die Versorgung über eine Nahwärmeleitung mit einem Erdgas- BHKW (Variante 3) oder Biomasseheizkessel (Variante 4) erfolgen. Über ein Erdgas-BHKW lassen sich die geringsten Betriebskosten erzielen. Vorteilhaft für Variante 4 ist es, dass eine Preisstabilität des Brennstoffs Biomasse und die damit verbundene Kalkulationssicherheit vorliegen.

Nachfolgend ist in Bild 106 die Primärenergieeinsparung und CO₂-Emissionsreduktionen für Variante 1 über Fernwärme für die betrachteten Dämmstandardvarianten für die Stadt Ust-Kamenogorsk einander gegenüber gestellt.

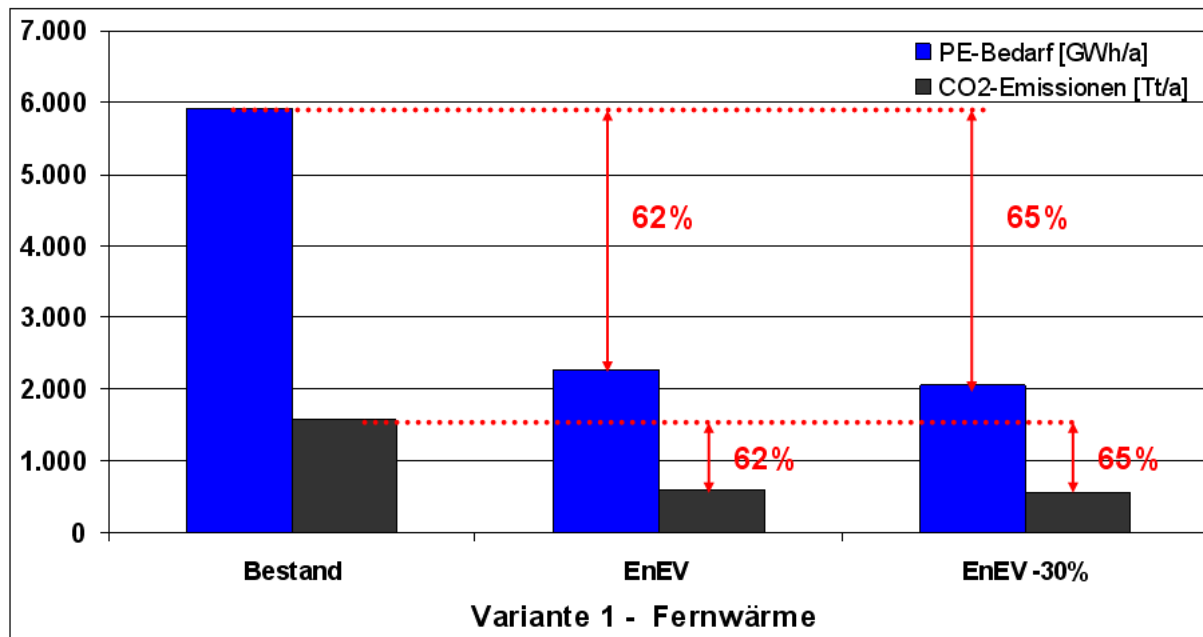


Bild 106 Gegenüberstellung der Primärenergieeinsparung und Emissionsreduktionen für charakteristische Siedlungen mit unterschiedlichen Dämmstandardvarianten in der Stadt Ust-Kamenogorsk

Für die Umsetzung optimierter Wärmeversorgungssysteme in der Stadt Ust-Kamenogorsk lassen sich folgende wesentliche Punkten ableiten:

- Wärmeschutz der Bestandsgebäude in Kasachstan und Osteuropa ist nicht an das extreme Außenklima angepasst und führt zu überhöhten Energieverlusten.
- Bei Umsetzung eines Wärmeschutzes der Gebäude entsprechend der deutschen EnEV können ca. 62 % an Energie bzw. Emissionen eingespart werden.
- Bezogen auf die Gebäude der Stadt Ust-Kamenogorsk ergeben sich durch Verbesserung des Wärmeschutzes auf EnEV-Niveau Einsparungen an Primärenergie von mehr als 4.500 GWh/a.
- Der Einsatz regenerativer Energieträger wie Holz oder Sonne stellen energetisch, ökologisch sowie auch wirtschaftlich interessante Alternativen zur klassischen Fernwärmenutzung dar.
- Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit für eine Umstellung der Energieversorgung in Kasachstan und sind aufgrund gleicher Gebäudekonstruktionen auf Gesamt-Osteuropa übertragbar.

10 LITERATURVERZEICHNIS

- [Aerex] Aerex Haustechnik Systeme GmbH, D – 37534 Eisdorf
Firmeninformation
- [Afjei] Afjei, T.
YUM – Yearly Utilization Model, Simulationsprogramm zur Berechnung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpenheizsystemen mit elektrisch angetriebenen Luft-Wasser-Wärmepumpen, Benutzerhandbuch mit Beispielen
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Energietechnik, 1991
- [Bine1] Bine - Informationsdienst Wärmespeicher, Fisch, Bodmann, Kühl, ISBN 3-8249-0853-0, 4 Auflage 2005.
- [BMWuTech] Energieversorgung für Deutschland. Statusbericht für den Energiegipfel am 3. April 2006.
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, 2006.
- [BMWi] Energie in Deutschland. Trend und Hintergründe zur Energieversorgung in Deutschland.
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Berlin, 2008.
- [Buderus] Buderus Heiztechnik GmbH,
Stahlstr.1, 30916 Isernhagen
- [C.A.R.M.E.N.] C.A.R.M.E.N.e.V. – Centrals- Agrar – Rohrstoff – Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk
D-94315, Schulgasse 18,
- [DAG] DREWAG – Stadtwerke Dresden GmbH
Technische Anschlussbedingungen 07/08
- [DeGTZ] Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
(GTZ), Stromproduktion aus regenerativen Energien: Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen in 15 Entwicklungs- und Schwellenländern. GmbH, Eschborn, 2002.

- [DIN V 4108-6] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN V 4108-6 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs Beuth Verlag GmbH, Berlin, 06/03
- [DIN 4701] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von gebäuden
Teil 1: Grundlagen der Berechnung, März 1983
Teil 2: Tabellen, Bilder, Algorithmen, März 1983
Teil 3: Auslegung von Raumheizeinrichtungen, August 1989
Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich
- [DIN 4701-10] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
DIN V 4701-10 Energetische Bewertung heiz- und raumluftheiztechnischer Anlagen – Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung Beuth Verlag GmbH, Berlin, 08/03
- [Duken] E. K.Dukenbaev. Energetika Kazahstana.Tekhnicheskii aspekt. Atamura, Almaty, 2001.
- [EnEV] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung-EnEV) vom 16. November 2001
- [Fisch] Fisch, M.N., BINE- Informationspaket „Wärmespeicher“ ,Köln 2005, ISBN 3-8249-0853-0
- [Fisch,Möws,Zieger] Fisch, M.N.; Möws, B.; Zieger, J
Solarstadt – Konzepte, Technologien, Projekte
Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart 2001, ISBN 3-17-015418-4
- [FÜG] Fernwärme FÜG Ulm GmbH, Netzplanung
Einsteinstraße 20, 89077 Ulm, netze@fernwärme-ulm.de
- [Heuer] M. Heuer. Wärmeversorgung einer Wohnsiedlung in Kasachstan. Studienarbeit, 24.11.2008.

- [IGS] Script zur Vorlesung „Regenerative Energietechnik“. Teil6. Thermische Solarenergienutzung.
- Technische Universität Braunschweig. Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS), Februar 2005.
- [KEGOK] Dispatch Department of JSC "KEGOK"
- 010000 Astana, Bogenbai Str. 7, Kasachstan
- www.kegok.kz
- [Kumulier] Kumulierter Kumulierter Energieaufwand verschiedener Energieträger und Versorgungen. Studie vom
- 15.03.2004. Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 2004.
- [Liersch] K. Liersch and N. Langener. EnEV-Praxis. EnEV-Novelle 2004 – leicht und verständlich dargestellt. Bauwerk, Berlin, 2 edition, 2005. ISBN: 3-89932-066-2..
- [Liersch] K. Liersch and N. Langener. EnEV-Praxis. EnEV-Novelle 2004 – leicht und verständlich
- dargestellt. Bauwerk, Berlin, 2 edition, 2005
- [Nahw] Forschungsbericht für BMU „Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit Langzeitwärmespeicher, TU Braunschweig IGS, Fisch, Kühl, Schlosser, Heuer 2/2009
- [Pech] A. Pech and K. Jens. Heizung und Kühlung. Springer, Wien, 2005.
- [RegEnergie] Script zur Vorlesung „Regenerative Energietechnik“. Teil6. Thermische Solarenergienutzung.
- Technische Universität Braunschweig. Institut für Gebäude- und Solartechnik
- (IGS), Februar 2005.
- [RepKZ] Republic of Kazakhstan Ministry of Energy and Mineral Resources
- [PfeilKochHahne] Pfeil M. , Koch H. ,Hahne E. Solaranlagen mit Langzeitwärmespeicher zur Heizungsunterstützung und Braushassererwärmung, Siebtes Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein 1997
- [Projekt] Projektbeschreibung, 2005,
- [SNIP] Stroitelnye normy i pravila Kasachstana. Sistema normativnyx dokumentov v stroitelstve, 1999.
- [Solvis] Solvis GmbH &Co KG, Grotrain-Steinweg-Straße 12,
- 38112 Braunschweig

- [TRJ] Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere und extreme Witterungsverhältnisse TRY.
- Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach a. Main, 2004.
- [TaschBuch] Taschenbuch für Heizung und Klimatisierung. Schramek. Universität Dortmund, Oldenbourg, 72 edition, 2005.
- [Tleukeng] Heating Supply in Kazakhstan: Concept - Simulation - Comparison
G. Tleukenova, L. Kühl, M. Heuer, N. Fisch, and R. Leithner
Brighton, England, Mai 2009
- ISBN: 978-3-642-03453-4
- [TRANSSOLAR] An interface for creating the building description of TYPY 56 (multi zone building). TRANSSOLAR Energietechnik GmbH.
- [TRNSYS] Klein, S.; Beckmann, B; Duffie, J.
- TRNSYS – A Transient System Simulation Program
- Program Manual, Version 14.2, Solar Energy Laboratory, Madison, University
- of Wisconsin, USA, February 1996
- [Umweltpol] Umweltpolitik. Regenerative Energien in Zahlen -nationale und internationale Entwicklung.
- Stnas: Januar 2007. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium
- für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, 2007.
- [VDI 2067] Verein Deutscher Ingenieure
- VDI 2067 Blatt 1 – Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung
- Verein deutsche Ingenieure, VDI – Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung, Düsseldorf, 12/1997
- [Viessmann] Viessmann Werke GmbH & Co KG, D- 35107 Allendorf
- Datenblatt Vitocal 300/350, 5811 119-3, 4/2003
- [Wärme/Kälte] Wärme und Kälte - Energie aus Sonne und Erde. Jahrestagung des Forschungsverbunds Sonnenenergie in Kooperation mit der Landesinitiative Zuckunftsenergie NRW, Köln, 2005.
- [WBGU] Wissenschaftliche Beirat Globale Umweltveränderungen
- <http://www.wbgu.de>

[WSVO 1995]

Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau
Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV)

Ausgabe 16.08.94

11 Anhang

A 1	ÜBERSICHT DÄMMSTANDARDVARIANTEN SIMULATION	145
A 1.1	Gebäudedaten	145
A 1.2	Bauteilaufbauten	146
A 2	ÜBERSICHT HEIZWÄRMEBEDARF UND HEIZLEISTUNG DER REFERENZGEBÄUDE	153
A 3	DATEN ZUR WIRTSCHAFTSLICHKEITSBERECHNUNG	154
A 3.1	Investitionskosten	154
A 3.2	Jahresgesamtkosten	156

A 1 ÜBERSICHT DÄMMSTANDARDVARIANTEN SIMULATION

A 1.1. Gebäudedaten

Tabelle A1 Gebäudedaten des Mehrfamilienhauses – Flächen – Volumen

Hausbezeichnung	Wohnfläche [m²]	Nutzfläche (EnEV) An [m²]	Aw/An [-]	Hüllfläche A [m²]	Ve [m³]	A/Ve [1/m]	WE [-]	Anzahl Personen Gebäude [-]	Anzahl Gebäude/ Bauabschnitt [-]	Anzahl Personen/ Bauabschnitt [-]
MFH Typ A	5.759	9.430	0,61	6.121	29.470	0,21	52	134	15	2.010
MFH Typ B	5.759	9.430	0,61	6.121	29.470	0,21	52	134	10	1.340
Summe über alle Gebäude		235.762		153.032	736.756		1.300	3.350	25	3.350
Hausbezeichnung	Fensterfläche Summe [m²]	Fenster- flächenanteil (%)								
MFH Typ A	1.553	25,37								
MFH Typ B	1.553	25,37								

Tabelle A2 Gebäudedaten des Bürogebäudes – Flächen – Volumen

Hausbezeichnung	Wohnfläche [m²]	Nutzfläche (EnEV) An [m²]	Aw/An [-]	Hüllfläche A [m²]	Ve [m³]	A/Ve [1/m]	WE [-]	Anzahl Personen Gebäude [-]	Anzahl Gebäude/ Bauabschnitt [-]	Anzahl Personen/ Bauabschnitt [-]
Bürogebäude	-	2.610	-	3.345	6.526	0,51	-	165	1	165
Summe über alle Gebäude		2.610		3.345	6.526			165	1	165
Hausbezeichnung	Fensterfläche Summe [m²]	Fenster- flächenanteil (%)								
Bürogebäude	227	6,79								

A 1.2 Bauteilaufbauten

Tabelle A3 Bauteilaufbau des Mehrfamilienhauses für 3 Dämmstandards

1. U-Werte - Wohngebäude Kasachstan (Bestand)					
Bauteil	Lage	Besonderheit		U-Wert [W/m²K]	g-Wert
Außenwand Ziegel	EG bis 9. OG			1,00	
Außenwand Beton	KG bis 9. OG			1,00	
Innenwand Ziegel	KG bis 9. OG			1,83	
Innenwand Beton	KG bis 9. OG			2,72	
Bodenplatte	KG			0,74	
Oberste Geschossdecke	9. OG			1,00	
Fenster	EG bis 9. OG	-	-	3,50	
Haustüren	-	-	-	2,40	
Innentüren	-	-	-	2,50	
2. U-Werte - Wohngebäude Kasachstan (EnEV-Zustand)					
Bauteil	Lage	Besonderheit		U-Wert [W/m²K]	g-Wert
Außenwand Ziegel	EG bis 9. OG	Hochlochklinker 25 cm	WLG 040	0,29	
Außenwand Beton	KG bis 9. OG	Einschichtige Betonplatte 30 cm	WLG 040	0,29	
Innenwand Ziegel	KG bis 9. OG	Ziegel 25 cm	-	1,83	
Innenwand Beton	KG bis 9. OG	Einschichtige Betonplatte 30 cm	-	2,72	
Bodenplatte	KG	Stahlbeton 20cm	Trittschalldämmung	0,74	
Oberste Geschossdecke	9. OG	Beton-Abdeckplatten	WLG 040	0,25	
Fenster	EG bis 9. OG	-	-	1,70	0,60
Haustüren	-	-	-	2,40	
Innentüren	-	-	-	2,50	
Randbedingungen:					
Fläche	Kellerdecke (unbeheizter Keller mit Perimeterdämmung)				
Wärmebrücken	pauschal - ohne Berücksichtigung DIN 4108 Bbl.2				
Gebäudedichtheit	ohne Dichtheitsprüfung (n = 0.7)				
3. U-Werte - Wohngebäude Kasachstan (EnEV-30%-Zustand)					
Bauteil	Lage	Besonderheit		U-Wert [W/m²K]	g-Wert
Außenwand Ziegel	EG bis 9. OG	Hochlochklinker 25 cm	WLG 040	0,20	
Außenwand Beton	KG bis 9. OG	Einschichtige Betonplatte 30 cm	WLG 040	0,20	
Innenwand Ziegel	KG bis 9. OG	Ziegel 25 cm	-	1,83	
Innenwand Beton	KG bis 9. OG	Einschichtige Betonplatte 30 cm	-	2,72	
Bodenplatte	KG	Stahlbeton 20cm	Trittschalldämmung	0,52	
Oberste Geschossdecke	9. OG	Beton-Abdeckplatten	WLG 040	0,17	
Fenster	EG bis 9. OG	-	-	1,20	0,60
Haustüren	-	-	-	2,00	
Innentüren	-	-	-	2,50	
Randbedingungen:					
Fläche	Kellerdecke (unbeheizter Keller mit Perimeterdämmung)				
Wärmebrücken	pauschal - ohne Berücksichtigung DIN 4108 Bbl.2				
Gebäudedichtheit	ohne Dichtheitsprüfung (n = 0.7)				
4. Materialeigenschaften					
	Rohdichte kg/m³	Wärmeleitfähigkeit W/mK	Wärmespeicherkapazität kJ/kg*K		
Stahl-Beton	2250	1,92	0,9		
Hochlochklinker	1650	0,7	0,84		
Innenputz	1800	0,87	1		
Außenputz	1800	0,87	1		
Faserdämmstoff	230	0,042	1,5		
Deckschicht Stahl 4mm	2000	1,4	0,88		
Beton B25	1800	1,1	0,91		

Tabelle A4 Bauteilaufbau des Bürogebäudes für 3 Dämmstandards

1. U-Werte - Bürogebäude Kasachstan (Bestand)				
Bauteil	Lage	Besonderheit	U-Wert [W/m²K]	g-Wert
Außenwand Ziegel	EG bis 3. OG		0,98	
Innenwand Ziegel	KG bis 3. OG		1,83	
Bodenplatte			0,74	
Oberste Geschossdecke	3. OG		0,82	
Fenster	EG bis 3. OG		3,50	
Haustüren	-	-	2,70	
Innentüren	-	-	2,50	
Randbedingungen:				
Fläche	Kellerdecke (unbeheizter Keller mit Perimeterdämmung)			
Wärmebrücken	pauschal - ohne Berücksichtigung DIN 4108 Bbl.2			
Gebäudedichtheit	ohne Dichtheitsprüfung (n = 0.7)			
2. U-Werte - Bürogebäude Kasachstan (EnEV-Zustand)				
Bauteil	Lage	Besonderheit	U-Wert [W/m²K]	g-Wert
Außenwand Ziegel	EG bis 3. OG	Hochlochklinker 25 cm	0,34	
Innenwand Ziegel	KG bis 3. OG	Ziegel 25 cm	-	
Bodenplatte		Stahlbeton 20cm	0,74	
Oberste Geschossdecke	3. OG	Beton-Abdeckplatten	0,30	
Fenster	EG bis 3. OG		1,70	0,60
Haustüren	-	-	2,70	
Innentüren	-	-	2,50	
Randbedingungen:				
Fläche	Kellerdecke (unbeheizter Keller mit Perimeterdämmung)			
Wärmebrücken	pauschal - ohne Berücksichtigung DIN 4108 Bbl.2			
Gebäudedichtheit	ohne Dichtheitsprüfung (n = 0.7)			
3. U-Werte -Bürogebäude Kasachstan (EnEV-30%-Zustand)				
Bauteil	Lage	Besonderheit	U-Wert [W/m²K]	g-Wert
Außenwand Ziegel	EG bis 3. OG	Hochlochklinker 22 cm	0,25	
Innenwand Ziegel	KG bis 3. OG	Ziegel 25 cm	1,83	
Bodenplatte		Stahlbeton 20cm	0,52	
Oberste Geschossdecke	3. OG	Beton-Abdeckplatten	0,21	
Fenster	EG bis 3. OG		1,20	0,60
Haustüren	-	-	2,00	
Innentüren	-	-	2,50	
Randbedingungen:				
Fläche	Kellerdecke (unbeheizter Keller mit Perimeterdämmung)			
Wärmebrücken	pauschal - ohne Berücksichtigung DIN 4108 Bbl.2			
Gebäudedichtheit	ohne Dichtheitsprüfung (n = 0.7)			
4. Materialeigenschaften				
	Rohdichte kg/m³	Wärmeleitfähigkeit W/mK	Wärmespeicherkapazität kJ/kg*K	
Stahl-Beton	2250	1,92	0,9	
Hochlochklinker	1650	0,7	0,84	
Innenputz	1800	0,87	1	
Außenputz	1800	0,87	1	
Faserdämmstoff	230	0,042	1,5	
Deckschicht Stahl 4mm	2000	1,4	0,88	
Beton B25	1800	1,1	0,91	

Tabelle A5 U-Werte des Mehrfamilienhauses und des Bürogebäudes im Bestand

1. U-Werte - Wohngebäude Kasachstan (Bestand)				
Bauteil	Lage	Besonderheit	U-Wert [W/m²K]	g-Wert
Außenwand Ziegel	EG bis 9. OG		1,00	
Außenwand Beton	KG bis 9. OG		1,00	
Innenwand Ziegel	KG bis 9. OG		1,83	
Innenwand Beton	KG bis 9. OG		2,72	
Bodenplatte	KG		0,74	
Oberste Geschossdecke	9. OG		1,00	
Fenster	EG bis 9. OG	-	3,50	
Haustüren	-	-	2,40	
Innentüren	-	-	2,50	
Randbedingungen:				
Fläche	Kellerdecke (unbeheizter Keller mit Perimeterdämmung)			
Wärmebrücken	pauschal - ohne Berücksichtigung DIN 4108 Bbl.2			
Gebäudedichtheit	ohne Dichtheitsprüfung (n = 0.7)			
2. U-Werte - Bürogebäude Kasachstan (Bestand)				
Bauteil	Lage	Besonderheit	U-Wert [W/m²K]	g-Wert
Außenwand Ziegel	EG bis 3. OG		0,98	
Innenwand Ziegel	KG bis 3. OG		1,83	
Bodenplatte			0,74	
Oberste Geschossdecke	3. OG		0,82	
Fenster	EG bis 3. OG		3,50	
Haustüren	-	-	2,70	
Innentüren	-	-	2,50	
Randbedingungen:				
Fläche	Kellerdecke (unbeheizter Keller mit Perimeterdämmung)			
Wärmebrücken	pauschal - ohne Berücksichtigung DIN 4108 Bbl.2			
Gebäudedichtheit	ohne Dichtheitsprüfung (n = 0.7)			

Tabelle A6 U-Werte Mehrfamilienhaus (EnEV)

Außenwand Stahl-Beton 0,3 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Stahl-Beton	0,3	1,92	0,156
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,13	0,042	3,095
Aussenputz	0	0,87	0,000
Summe:	0,43		3,269
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,29

Außenwand Ziegel 0,25 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,25	0,7	0,357
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,12	0,042	2,857
Aussenputz	0	0,87	0,000
Summe:	0,385		3,232
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,29

Oberste Geschossdecke			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Wasserundurchlässige Schicht	0,015	0,17	0,088
Deckschicht mit Stahlverstärkungsgitter 4mm	0,03	1,4	0,021
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,15	0,042	3,571
Beton Abdeckplatte	0,3	1,92	0,156
Innenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,51		3,855
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,25

Bodenplatte			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Beton B25 mit Marmorkrümeln	0,02	1,1	0,018
Estrich M150	0,03	1,4	0,021
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,1	0,042	2,381
Wasserundurchlässige Schicht	0,005	0,17	0,029
Beton B15	0,15	2,1	0,071
Summe:	0,305		2,521
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,170
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,37

Fenster (Kunststoff)			
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	1,70
Gesamtenergiedurchlaßgrad			0,60

Innenwand Beton 0,3 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Stahl-Beton	0,3	4,10	0,073
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,33		0,108
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	2,72

Innenwand Ziegel 0,24 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,24	0,95	0,253
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,27		0,287
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	1,83

Innenwand Normal 0,175 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,175	0,95	0,184
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,205		0,219
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	2,09

Geschossdecke			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Schwimmender Zementestrich	0,035	1,45	0,024
Wasserundurchlässige Schicht	0,015	0,17	0,088
Trittschalldämmung	0,04	0,047	0,851
Stahl-Beton	0,2	1,92	0,104
Deckenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,305		1,085
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,74

Hauseingangstür (Holz)			
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	2,90
Gesamtenergiedurchlaßgrad			0,60

Tabelle A7 U-Werte Bürogebäude (EnEV)

Außenwand Ziegel 0,25 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,25	0,7	0,357
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,10	0,042	2,381
Außenputz	0	0,87	0,000
Summe:	0,365		2,755
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,34

Oberste Geschossdecke			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Wasserundurchlässige Schicht	0,015	0,17	0,088
Deckschicht mit Stahlverstärkungsgitter 4mm	0,03	1,4	0,021
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,12	0,042	2,857
Beton Abdeckplatte	0,3	1,92	0,156
Innenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,48		3,140
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,30

Bodenplatte (3 mögliche Bodenaufbauten besitzen aber alle den gleichen U-Werte)			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Beton B25 mit Marmorkübeln	0,02	1,1	0,018
Estrich M150	0,03	1,4	0,021
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,1	0,042	2,381
Wasserundurchlässige Schicht	0,005	0,17	0,029
Beton B15	0,15	2,1	0,071
Summe:	0,305		2,521
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,170
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,37

Geschossdecke			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Schwimmender Zementestrich	0,035	1,45	0,024
Wasserundurchlässige Schicht	0,015	0,17	0,088
Trittschalldämmung	0,04	0,047	0,851
Stahl-Beton	0,2	1,92	0,104
Deckenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,305		1,085
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,74

Fenster (Kunststoff)			
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	1,70
Gesamtenergiedurchlaßgrad			0,60

Hauseingangstür (Holz)			
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	2,70
Gesamtenergiedurchlaßgrad			0,60

Innenwand Ziegel 0,24 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,24	0,95	0,253
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,27		0,287
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	1,83

Innenwand Normal 0,175 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,175	0,95	0,184
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,205		0,219
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	2,09

Tabelle A8 U-Werte Mehrfamilienhaus (EnEV-30%)

Außenwand Stahl-Beton 0,5 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Stahl-Beton	0,3	1,92	0,156
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,20	0,042	4,762
Aussenputz	0	0,87	0,000
Summe:	0,5		4,935
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,20

Außenwand Ziegel 0,45 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,25	0,7	0,357
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,19	0,042	4,524
Aussenputz	0	0,87	0,000
Summe:	0,455		4,898
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,20

Oberste Geschossdecke			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Wasserundurchlässige Schicht	0,015	0,17	0,088
Deckschicht mit Stahlverstärkungsgitter 4mm	0,03	1,4	0,021
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,23	0,042	5,476
Beton Abdeckplatte	0,3	1,92	0,156
Innenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,59		5,759
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,17

Bodenplatte			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Beton B25 mit Marmorkrümeln	0,02	1,1	0,018
Estrich M150	0,03	1,4	0,021
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,15	0,042	3,571
Wasserundurchlässige Schicht	0,005	0,17	0,029
Beton B15	0,15	2,1	0,071
Summe:	0,355		3,712
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,170
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,25

Fenster (Kunststoff)			
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	1,20
Gesamtenergiedurchlaßgrad			0,60

Innenwand Beton 0,3 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Stahl-Beton	0,3	4,10	0,073
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,33		0,108
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	2,72

Innenwand Ziegel 0,24 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,24	0,95	0,253
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,27		0,287
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	1,83

Innenwand Normal 0,175 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,175	0,95	0,184
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,205		0,219
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	2,09

Geschossdecke			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Schwimmender Zementestrich	0,035	1,45	0,024
Wasserundurchlässige Schicht	0,015	0,17	0,088
Trittschalldämmung	0,067	0,047	1,426
Stahl-Beton	0,2	1,92	0,104
Deckenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,332		1,659
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,52

Hauseingangstür (Holz)			
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	2,00
Gesamtenergiedurchlaßgrad			0,60

Tabelle A9 U-Werte Bürogebäude (EnEV-30%)

Außenwand Ziegel 0,45 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,22	0,7	0,314
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,15	0,042	3,571
Außenputz	0	0,87	0,000
Summe:	0,385		3,903
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,25

Oberste Geschossdecke			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Wasserundurchlässige Schicht	0,015	0,17	0,088
Deckschicht mit Stahlverstärkungsgitter 4mm	0,03	1,4	0,021
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,18	0,042	4,286
Beton Abdeckplatte	0,16	1,92	0,083
Innenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,4		4,496
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,21

Bodenplatte (3 mögliche Bodenaufbauten besitzen aber alle den gleichen U-Werte)			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Beton B25 mit Marmorkrümeln	0,02	1,1	0,018
Estrich M150	0,03	1,4	0,021
Dämmung (Faserdämmstoff)	0,15	0,042	3,571
Wasserundurchlässige Schicht	0,005	0,17	0,029
Beton B15	0,15	2,1	0,071
Summe:	0,355		3,712
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,170
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,040
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,25

Geschossdecke			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Schwimmender Zementestrich	0,035	1,45	0,024
Wasserundurchlässige Schicht	0,015	0,17	0,088
Trittschalldämmung	0,067	0,047	1,426
Stahl-Beton	0,2	1,92	0,104
Deckenputz (Kalk-Zementmörtel)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,332		1,659
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand aussen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	0,52

Fenster (Kunststoff)			
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	1,20
Gesamtenergiedurchlassgrad			0,60

Hauseingangstür (Holz)			
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	2,00
Gesamtenergiedurchlassgrad			0,60

Innenwand Ziegel 0,24 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,24	0,95	0,253
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,27		0,287
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	1,83

Innenwand Normal 0,175 m			
	s [m]	lambda [W/mK]	s/lambda [m²K/W]
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Hochlochklinker	0,175	0,95	0,184
Innenputz (Gipsputz)	0,015	0,87	0,017
Summe:	0,205		0,219
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmeübergangswiderstand innen:		[m²K/W]	0,130
Wärmedurchgangskoeffizient:		W/m²K	2,09

11.1 A 2 ÜBERSICHT HEIZWÄRMEBEDARF UND HEIZLEISTUNG DER REFERENZGEBÄUDE

Tabelle A10 Ergebnisse des Jahresheizwärmebedarfs - Berechnungen / Simulationen für das Mehrfamilienhaus und das Bürogebäude

Bestand (Wetterdaten Meteonorm 6 - Simulation) Nr.	Gebäude	An Nutzfläche [m²]	HT Transmissions- wärmeverlust [W/K]	HL Lüftungs- wärmeverlust [W/K]	Qh Jahresheiz- wärmebedarf [kWh/a]	Qh* [kWh/m²a]	HT*,vorh [W/m²K]	HT*,max [W/m²K]	% unter EnEV [%]
1	MFH Typ A	9.430	11.972	3.206	2.658.000	282	1,96	1,02	-91,3%
2	MFH Typ B	9.430	11.972	3.206	2.658.000	282	1,96	1,02	-91,3%
3	Bürogebäude	2.610	4.698	994	550.198	211	1,80	0,30	-499,9%

EnEV-Zustand (Wetterdaten Meteonorm 6 - Simulation) Nr.	Gebäude	An Nutzfläche [m²]	HT Transmissions- wärmeverlust [W/K]	HL Lüftungs- wärmeverlust [W/K]	Qh Jahresheiz- wärmebedarf [kWh/a]	Qh* [kWh/m²a]	HT*,vorh [W/m²K]	HT*,max [W/m²K]	% unter EnEV [%]
1	MFH Typ A	9.430	4.592	5.611	878.050	93	0,75	1,02	26,6%
2	MFH Typ B	9.430	4.592	5.611	871.250	92	0,75	1,02	26,6%
3	Bürogebäude	2.610	1.569	1.775	186.266	71	0,60	0,30	-100,4%

EnEV-30%-Zustand (Wetterdaten Meteonorm 6 - Simulation) Nr.	Gebäude	An Nutzfläche [m²]	HT Transmissions- wärmeverlust [W/K]	HL Lüftungs- wärmeverlust [W/K]	Qh Jahresheiz- wärmebedarf [kWh/a]	Qh* [kWh/m²a]	HT*,vorh [W/m²K]	HT*,max [W/m²K]	% unter EnEV [%]
1	MFH Typ A	9.430	3.405	5.611	758.370	80	0,56	1,02	45,6%
2	MFH Typ B	9.430	3.405	5.611	759.050	80	0,56	1,02	45,6%
3	Bürogebäude	2.610	1.183	1.775	153.223	59	0,45	0,30	-51,1%

Tabelle A11 Ergebnisse der Heizlast - Berechnungen / Simulation für das Mehrfamilienhaus und das Bürogebäude

Bestand (TrnSys - Simulation) Nr.	Gebäude	An Nutzfläche [m²]	QHT Transmissions- wärmeverlust [W]	QHV Lüftungs- wärmeverlust [W]	QRH Zusatzauf- heizleistung [W]	QHL Norm Heizlast [W]	qHL spez. Heizlast [W/m²]
1	MFH Typ A	9.430	730.312	195.586	0	925.898	98
2	MFH Typ B	9.430	730.312	195.586	0	925.898	98
3	Bürogebäude	2.610	277.180	58.652	0	335.832	129

EnEV (TrnSys - Simulation) Nr.	Gebäude	An Nutzfläche [m²]	QHT Transmissions- wärmeverlust [W]	QHV Lüftungs- wärmeverlust [W]	QRH Zusatzauf- heizleistung [W]	QHL Norm Heizlast [W]	qHL spez. Heizlast [W/m²]
1	MFH Typ A	9.430	245.892	257.790	0	503.682	53
2	MFH Typ B	9.430	245.892	257.790	0	503.682	53
3	Bürogebäude	2.610	92.596	104.736	0	197.332	76

EnEV-30% (TrnSys - Simulation) Nr.	Gebäude	An Nutzfläche [m²]	QHT Transmissions- wärmeverlust [W]	QHV Lüftungs- wärmeverlust [W]	QRH Zusatzauf- heizleistung [W]	QHL Norm Heizlast [W]	qHL spez. Heizlast [W/m²]
1	MFH Typ A	9.430	163.175	257.790	0	420.965	45
2	MFH Typ B	9.430	95.395	257.790	0	420.965	45
3	Bürogebäude	2.610	69.817	104.736	0	174.553	67

11.2 A 3 DATEN ZUR WIRTSCHAFTSLICHKEITSBERECHNUNG

A 3.1 Investitionskosten

Tabelle A12 Investitionskosten der Nahwärmeleitung

								Mittlere Temperaturdifferenz zum Erdreich:	60 K
								Mittlere Temperaturdifferenz zum Keller	55 K
								Benutzungsstunden pro Jahr:	8760 h/a
Nennweite	Bezeichnung	Trassenlänge	Trassenlänge mit Zuschlag	spez. Wärme-verlust-leistung	Wärme-verlust-leistung	Gesamt-wärme-verlust	Rohr-leitungs-kosten + Verlegung	Tiefbau-kosten	Summe
DN		[m]	5% [m]	[W/(mTr.*K)]	[kW]	[MWh/a]	[€ / m Tr.]	[€ / m Tr.]	[€]
alle Werte mit Längenangaben sind bezogen auf Meter Trasse									
Hauptleitungen erdverlegt / KMR			2						
50	KMR	96	100,9	0,576	3,5	30,5	130	80	21.189
65	KMR	152	159,1	0,672	5,9	51,5	140	85	35.798
80	KMR	0	0,0	0,714	0,0	0,0	160	100	0
100	KMR	402	422,5	0,742	18,8	164,8	190	100	122.525
125	KMR	27	28,1	0,862	1,5	12,7	210	110	8.992
150	KMR	550	577,2	1,024	35,5	310,7	235	120	204.906
200	KMR	194	203,6	1,120	13,7	119,9	270	120	79.404
250	KMR	208	218,7	1,088	14,3	125,1	315	130	97.322
Leitungen kellerverlegt / Stahl									
80	Stahl	425	446,3	0,440	10,80	94,6	115		51.325
Leckwarnsystem		2.054 m	2.156 m				15 €/m		32.346
Hauseinführungen vereinfacht (KMR-Rohr)									
		[St.]					[€/St.]		
50	1						2.270		2.270
65	8						2.770		22.160
80	0						3.050		0
100	5						3.450		17.250
125	2						4.050		8.100
150	5						4.120		20.600
200	5						4.310		21.550
Unvorhergesehenes								10%	74.574
Summe:									820.309
Planung								10%	82.031
Gesamtsumme Fernwärmenetz									
			Trassenlänge			Wärme-verlust-leistung	Gesamt-wärme-verlust	Kosten pro m Tr.	
Gesamtsumme Investitionen			2.156 m			104 kW	910 MWh/a	418 €	902.340
								ohne Planung	820.309
								Planung	82.031
Netzverluste pro m Tr.					0,42 MWh/(m*a)				

Tabelle A13 Investitionskosten der Wärmedämmung

Investitionskosten Energieeinsparmaßnahmen						Gebäude in Kasachstan				
Dämmmaßnahmen	EnEV		EnEV -30%							
Außenwand	70	[€/m²]	100	[€/m²]						
Kellerdecke	45	[€/m²]	55	[€/m²]						
Oberste Geschossdecke	-	[€/m²]	-	[€/m²]						
Flachdach	55	[€/m²]	90	[€/m²]						
Fenster	220	[€/m²]	280	[€/m²]						
EnEV Standard	Flächenaufmaß					Investitionskosten				
Gebäudetyp	Fläche Außenwand [m²]	Fläche Kellerdecke [m²]	Fläche Oberste GD [m²]	Fläche Dach [m²]	Fläche Fenster [m²]	Außenwand [€]	Kellerdecke [€]	Oberste GD [€]	Dach [€]	Fenster [€]
MFH	3109	714	-	714	1.553	217.663	32.137	-	39.279	341.653
Summe MFH	77.737	17.854	-	17.854	38.824	5.441.569	803.430	-	981.970	8.541.335
Bürogebäude	1.604	984	-	984	227	112.271	44.283	-	54.123	49.964
EnEV -30% Standard	Flächenaufmaß					Investitionskosten				
Gebäudetyp	Fläche Außenwand [m²]	Fläche Kellerdecke [m²]	Fläche Oberste GD [m²]	Fläche Dach [m²]	Fläche Fenster [m²]	Außenwand [€]	Kellerdecke [€]	Oberste GD [€]	Dach [€]	Fenster [€]
MFH	3109	714	-	714	1.553	310.947	39.279	-	64.274	434.832
Summe MFH	77.737	17.854	-	17.854	38.824	7.773.670	981.970	-	1.606.860	10.870.790
Bürogebäude	1.604	984	-	984	227	160.387	54.123	-	88.565	63.591

Tabelle A14 Gesamtinvestitionskosten der Variante 1

1. Leistungsdaten		Menge	Bestand	EnEV	EnEV -30%
Heizleistungsbedarf	MFH		16.502 kW	12.993 kW	10.924 kW
	Bürogebäude		336 kW	197 kW	175 kW
Raumbedarf Heizzentrale	26		878 m³	878 m³	878 m³
2. Investitionskosten					
	Menge	Einzelpreis	Investitionen €	Investitionen €	Investitionen €
Fernwärme-Übergabestation 660 kW , 520kW, 440 kW mit Zubehör und Regelung	25		230.000	222.500	202.500
Fernwärme-Übergabestation 340 kW, 200kW, 175kW mit Zubehör und Regelung	1		6.500	5.900	5.600
Hydraulische Einbindung	26		148.200	119.600	117.000
MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme	26		104.000	104.000	104.000
Fernwärme-Anschluss	26		338000	312.000	260.000
Heizungsverteilung	26		208.000	208.000	208.000
Brauchwasserspeicher 750 l, Speicher-Lade-System	25	4.800 €	120.000	120.000	120.000
Bauliche Maßnahmen HZ		200 €/m³	-	175.500	175.500
Bauliche Maßnahmen HZ		50 €/m³	43.875	-	-
Unvorhergesehenes		10%	119.858	126.750	119.260
Summe			1.318.433	1.394.250	1.311.860
Planung		10%	131.843	139.425	131.186
Gesamtsumme Investition	netto		1.450.276	1.533.675	1.443.046

Tabelle A15 Gesamtinvestitionskosten der Variante 2

1. Leistungsdaten		Menge	EnEV	
Heizleistungsbedarf	MFH	25	520 kW	12.993 kW
	Bürogebäude	1	197 kW	197 kW
Raumbedarf Heizzentrale	MFH	25		1.875 m³
	Bürogebäude	1		25 m³
2. Investitionskosten				
		Menge	Einzelpreis	Investitionen €
Gas-NT-Kessel 520 kW mit Zubehör und Regelung		25		687.500
Gas-NT-Kessel 200 kW mit Zubehör und Regelung		1		11.500
Hydraulische Einbindung Kessel, Abgasleitung		26		286.000
MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme		26		208.000
Abgasanlage (1-zügig)		26		156.000
Heizungsverteilung		26		208.000
Gasanschluss (vorhanden prüfen!)		26		0
Bauliche Maßnahmen HZ			200 €/m³	380.000
Unvorhergesehenes			10%	193.700
Summe				2.130.700
Planung			10%	213.070
Gesamtsumme Investition		netto		2.343.770

Tabelle A16 Gesamtinvestitionskosten der Variante 3

1. Leistungsdaten	Menge		EnEV
Heizleistungsbedarf			9.353 kW
Raumbedarf Heizzentrale			345 m³
Unterstationen	25	15 m³	375 m³
Kurzzeitwärmespeicher (15 l/kW)	1		140 m³
2. Investitionskosten	Menge	Einzelpreis	Investitionen €
Grundlast: Erdgas-BHKW 495 kWth/363 kWel im Container incl. Notrückkühlung, Netzeinspeisung und Genehmigung	1	184.310	184.310
Fundament und Container Heizzentrale	39 m³	400 €/m³	15.600
Hydraulische Einbindung Wärmeerzeuger inkl. Tiefbauarbeiten	1	10.000	10.000
MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme	1	10.000	10.000
Abgasanlage (1-zügig)	1	5.000	5.000
Mittellast: Gas-NT-Kessel 5.200 kW mit Zubehör und Regelung	1		220.000
Spitzenlast: Gas-NT-Kessel 3.700 kW mit Zubehör und Regelung	1		160.000
Hydraulische Einbindung Kessel, Abgasleitung	2		16.000
Heizungsverteilung (inkl. Ausd.gefäß) für Nahwärmenetz			8.000
MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme	2		12.000
Abgasanlage (1-zügig)	2		16.000
Kurzzeitwärmespeicher	1	1.300 €/m³	182.375
Brauchwasserspeicher 750 l, Speicher-Lade-System	25	4.800 €	120.000
Gasanschluss (für BHKW)			833
Stromanschluss (für BHKW)			920
Bauliche Maßnahmen HZ		200 €/m³	144.000
Unvorhergesehenes		10%	110.504
Summe			1.215.542
Planung		15%	182.331
Gesamtsumme Investition	netto		1.397.873

Tabelle A17 Gesamtinvestitionskosten der Variante 4

1. Leistungsdaten	Menge	EnEV	
Heizleistungsbedarf		9.353 kW	
Raumbedarf Heizzentrale (HZ)	1	300 m³	
Raumbedarf Unterstationen (USt)	26	390 m³	
Raumbedarf Pelletlager	1	667 m³	
Pufferspeichervolumen (Pelletkessel)		4 m³	
2. Investitionskosten	Menge	Einzelpreis	Investitionen €
Grundlast: Holzpelletkessel 500 kW mit automatischer Beschickung und Entaschung	1	150.000 €	150.000
Mittellast: Gas-NT-Kessel 5.200 kW (ML)	1		220.000
Spitzenlast: Gas-NT-Kessel 3.700 kW (SL) mit Zubehör und Regelung	1		160.000
Hydraulische Einbindung Kessel, Abgasleitung	3		73.500
MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme	3		36.000
Abgasanlage (1-zügig)	3		54.000
Heizungsverteilung (inkl. Ausd.gefäß) für Nahwärmenetz			8.000
Brauchwasserspeicher 750 l, Speicher-Lade-System	25	4.800 €	120.000
Pufferspeicher Solar (in Inv. Solar enthalten)	4 m³		
Gasanschluss (vorhanden prüfen!)	1		833
Bauliche Maßnahmen HZ		200 €/m³	60.000
Bauliche Maßnahmen Ust		200 €/m³	78.000
Bauliche Maßnahmen Pelletlager		200 €/m³	133.308
Unvorhergesehenes		10%	109.364
Summe			1.203.005
Planung		15%	180.451
Gesamtsumme Investition	netto		1.383.456

Tabelle A18 Gesamtinvestitionskosten der Variante 5a

1. Leistungsdaten			EnEV
Heizleistungsbedarf			9.353 kW
Raumbedarf Heizzentrale			345 m³
Langzeitwärmespeicher (Heiwasser-Beton)			33.234 m³
2. Investitionskosten			
	Menge	Einzelpreis	Investitionen €
Grundlast: Gas-NT-Kessel 500 kW mit Zubehör und Regelung	1		27.000
Mittellast: Gas-NT-Kessel 5.200kW mit Zubehör und Regelung	1		220.000
Spitzenlast: Gas-NT-Kessel 3.700 kW mit Zubehör und Regelung	1		180.000
Hydraulische Einbindung Kessel, Abgasleitung	3		33.000
MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme	3		24.000
Abgasanlage (1-zügig)	3		18.000
Heizungsverteilung	3		24.000
Brauchwasserspeicher 750 l, Speicher-Lade-System	25	4.800 €	120.000
Gasanschluss			833
Bauliche Maßnahmen HZ	345 m³	200 €/m³	69.000
Unvorhergesehenes		10%	71.583
Summe			787.416
Planung		15%	118.112
Gesamtsumme Investition	netto		905.529

Tabelle A19 Gesamtinvestitionskosten der Variante 5b

Position	Menge	Einzelpreis €	Gesamtpreis €
<i>Kollektoren inkl. Montage und Verrohrung im Feld</i>			
Kollektoren auf Dach aufgeständert	21 650 m ²	220 €/m ²	4 763 000
Solarleitungen im Gebäude (DN 20)	0 m Tr.	36 €/m Tr.	0
Solarleitungen im Gebäude (DN 40)	50 m Tr.	66 €/m Tr.	3 300
Solarleitungen ausserhalb des Gebäudes (DN 32)	550 m Tr.	52 €/m Tr.	28 600
Solarleitungen ausserhalb des Gebäudes (DN 40)	600 m Tr.	66 €/m Tr.	39 600
Installationen in der Heizzentrale (Solarübergabestation / Hydraulische Einbindung)			18 500
MSR-Technik (anteilig)			10 000
Langzeitwärmespeicher	33 234 m ³	100 €/m ³	3 323 400
Raumbedarf HZ	345 m ³	200 €/m ³	69 000
Summe			8 255 400
Unvorhergesehenes		6%	495 324
Summe			8 750 724
Planung		5%	437 536
Gesamtsumme Investitionen			9 188 260
Kosten pro m² Kollektorfläche			424 €/m²

A 3. 2 Jahresgesamtkosten

Tabelle A20 Jahresgesamtkosten der Wärmedämmung

Energiebilanz der Wärmeversorgung					EnEV-Zustand	EnEV -30%
Wärmebedarf Gebäudeheizung (inkl. hausinterner Verluste)					23.050 MWh/a	20.099 MWh/a
Wärmebedarf WW-Bereitung (inkl. hausinterner Verluste)					4.385 MWh/a	4.385 MWh/a
Gesamtwärmebedarf der Gebäude					23.050 MWh/a	20.099 MWh/a
Wärme ab Heizzentrale					28.344 MWh/a	24.484 MWh/a
1. Kapitalkosten <i>Zinssatz: 6%</i>						
Position	Nutzungsdauer	Investition	Annuität	Jahreskosten	Investition	Jahreskosten
	a	€		€ / a	€	€ / a
WDVS der Außenwände	30	5.775.994	7,26%	419.620	8.251.419	599.457
Dämmung der Kellerdecken	30	881.621	7,26%	64.049	1.077.537	78.282
Dämmung der Dachflächen	30	1.077.537	7,26%	78.282	1.763.242	128.098
Fenstererneuerung inkl. Entsorgung der alten Fenster	30	8.934.951	7,26%	649.114	11.371.756	826.146
Planung	20	500.103	8,72%	43.601	673.919	58.755
Summe Kapitalkosten		(17.170.206)		1.254.666	(23.137.874)	1.690.737
2. Laufende Kosten						
Position	Bezugsgröße	Faktor	Jahreskosten		Bezugsgröße	Jahreskosten
			€ / a			€ / a
2.1. Instandsetzung						
WDVS der Außenwände	5.775.994	0,5%	28.880		8.251.419	41.257
Dämmung der Kellerdecken	881.621	0,0%	0		1.077.537	0
Dämmung der Dachflächen	1.077.537	0,0%	0		1.763.242	0
Fenstererneuerung inkl. Entsorgung der alten Fenster	8.934.951	0,0%	0		11.371.756	0
2.2. Wartung und Betrieb						
WDVS der Außenwände	5.775.994	0,0%	0		8.251.419	0
Dämmung der Kellerdecken	881.621	0,0%	0		1.077.537	0
Dämmung der Dachflächen	1.077.537	0,0%	0		1.763.242	0
Fenstererneuerung inkl. Entsorgung der alten Fenster	8.934.951	0,0%	0		11.371.756	0
Summe laufende Kosten			28.880			41.257
Jahresgesamtkosten	€ / a		1.283.546			1.731.994

Tabelle A21 Jahresgesamtkosten der Variante 1

Energiebilanz der Wärmeversorgung					EnEV-Zustand	EnEV -30%
Fernwärme-Leistungsbedarf					16.838 kW	10.924 kW
Wärmebedarf Gebäudeheizung (inkl. hausinterner Verluste)					23.050 MWh/a	20.099 MWh/a
Wärmebedarf WW-Bereitung (inkl. hausinterner Verluste)					4.385 MWh/a	4.385 MWh/a
Gesamtwärmebedarf der Gebäude					27.435 MWh/a	24.660 MWh/a
Wärmeabnahme Fernwärme 98%					27.995 MWh/a	25.163 MWh/a
Betriebsstrombedarf 1.092,6 MWh/a					419,9 MWh/a	377,4 MWh/a
1. Kapitalkosten <i>Zinssatz: 6%</i>						
Position	Nutzungsdauer	Investition	Annuität	Jahreskosten	Investition	Jahreskosten
	a	€		€ / a	€	€ / a
Fernwärme-Übergabestation	30	260.150	7,26%	18.900	251.240	18.252
Hydraulische Einbindung, MSR-Technik	20	277.420	8,72%	24.187	245.960	21.444
Fernwärme-Anschluss	50	371.800	6,34%	23.589	343.200	21.774
Heizungsverteilung	20	228.800	8,72%	19.948	228.800	19.948
Brauchwasserspeicher 750 l	20	132.000	8,72%	11.508	132.000	11.508
Bauliche Maßnahmen	50	48.263	6,34%	3.062	193.050	12.248
Planung	20	131.843	8,72%	11.495	131.843	11.437
Summe Kapitalkosten		1.450.276		112.688	(1.833.875)	117.330
2. Laufende Kosten						
Position	Bezugsgröße	Faktor	Jahreskosten		Bezugsgröße	Jahreskosten
			€ / a			€ / a
2.1. Instandsetzung						
Fernwärme-Übergabestation	260.150	1,5%	3.902		251.240	3.769
Hydraulische Einbindung, MSR-Technik	277.420	1,5%	4.161		245.960	3.689
Fernwärme-Anschluss	371.800	0,0%	0		343.200	0
Heizungsverteilung	228.800	1,5%	3.432		228.800	3.432
Brauchwasserspeicher 750 l	132.000	1,0%	1.320		132.000	1.320
Bauliche Maßnahmen	48.263	1,0%	483		193.050	1.931
2.2. Wartung und Betrieb						
Fernwärme-Übergabestation	260.150	1,5%	3.902		251.240	3.769
Heizzentrale + Verteilung+WWB	638.220	1,5%	9.573		606.760	9.101
Summe Inst.W+B			26.774			27.011
2.3. Energiekosten						
Leistungspreis Fernwärme	16.838 kW	39,6 €/kWh	667.428		12.993 kW	514.991
Messpreis Fernwärme			180			180
Arbeitspreis Fernwärme	72.842 MWh/a	75,0 €/MWh	5.463.186		27.995 MWh/a	2.099.597
Betriebsstrom incl. Grundpreis	1.092,6 MWh/a	152 €/MWh	165.534		419,9 MWh/a	63.679
Summe Energiekosten			6.296.308			2.878.447
Summe laufende Kosten			6.323.082			2.705.458
Jahresgesamtkosten	€ / a		6.435.770			2.822.788
Wärmekosten	€ / MWh		90			103

Tabelle A22 Jahresgesamtkosten der Variante 2

Energiebilanz der Wärmeversorgung				EnEV
Wärmebedarf Gebäudeheizung (inkl. hausinterner Verluste)				23.050 MWh/a
Wärmebedarf WW-Bereitung (inkl. hausinterner Verluste)				4.385 MWh/a
Gesamtwärmebedarf der Gebäude				27.435 MWh/a
Wärme ab Heizzentrale				27.435 MWh/a
Wärmelieferung Solaranlage	415 kWh/m²a	5.670 m²	2.353 MWh/a	
Sol. Deckungsanteil am Bedarf WW				53,7%
Sol. Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf				8,6%
Wärmelieferung Gas-NT-Kessel			90%	25.082 MWhHu/a
bzw.				27.869 MWhHu/a
Brennstoffbedarf		11,0 kWhHo/m³		30.655 MWhHo/a
				2.786.854 m³/a
Betriebsstrombedarf Gas-NT-Kessel				418,0 MWh/a
Betriebsstrombedarf Solaranlage				29,4 MWh/a
1. Kapitalkosten	Zinssatz:	6%		
Position	Nutzungsdauer a	Investition €	Annuität	Jahreskosten € / a
Gas-NT-Kessel	20	768.900	8,72%	67.036
Hydraulische Einbindung, MSR-Technik	20	543.400	8,72%	47.376
Abgasanlage	20	171.600	8,72%	14.961
Heizungsverteilung	20	228.800	8,72%	19.948
Gasanschluss (vorhanden)	50	0	6,34%	0
Solaranlage (incl. Pufferspeicher)		3.061.575		316.359
Bauliche Maßnahmen	50	418.000	6,34%	26.520
Planung	20	672.306	8,72%	58.615
Summe Kapitalkosten		(5.864.581)		550.815
2. Laufende Kosten				
Position	Bezugsgröße	Faktor	Jahreskosten € / a	
2.1. Instandsetzung				
Gas-NT-Kessel	768.900	1,5%	11.534	
Hydraulische Einbindung, MSR-Technik	543.400	1,5%	8.151	
Abgasanlage	171.600	1,0%	1.716	
Heizungsverteilung	228.800	1,5%	3.432	
Gasanschluss (vorhanden)	0	0,5%	0	
Solaranlage (incl. Pufferspeicher)	3.061.575	1,0%	30.616	
Bauliche Maßnahmen	418.000	1,5%	6.270	
2.2. Wartung und Betrieb				
Gas-NT-Kessel	768.900	1,5%	11.534	
Heizzentrale + Verteilung	1.361.800	1,5%	20.427	
Solaranlage (incl. Pufferspeicher)			12.275	
Summe Inst. W+B			105.954	
2.3. Energiekosten				
Arbeitspreis Gas	30.655 MWhHo/a	50,8 €/MWhHo	1.557.294	
Grundpreis Gas			2.584	
Betriebsstrom incl. Grundpreis (Gas-NT-Kessel)	418,0 MWh/a	152 €/MWh	63.393	
Betriebsstrom Solaranlage	29,4 MWh/a	152 €/MWh	4.517	
Summe Energiekosten			1.627.788	
Summe laufende Kosten				1.733.742
Jahresgesamtkosten	€ / a			2.284.557
Wärmekosten	€ / MWh			83

Tabelle A23 Jahresgesamtkosten der Variante 3

Energiebilanz der Wärmeversorgung				EnEV
Wärmebedarf Gebäude (Heizung)				23.050 MWh/a
Wärmebedarf Gebäude (WWB)	25			4.385 MWh/a
Netzverluste Nahwärmenetz				910 MWh/a
Gesamtwärmebedarf der Gebäude + Netz				28.344 MWh/a
Wärme ab Heizzentrale				28.344 MWh/a
Wärmelieferung Erdgas-BHKW		15%		4.258 MWhHu/a
		11,0 kWhHo/m³		4.684 MWhHo/a
				387.082 m³/a
Wärmelieferung	513 kWh	8.300 h/a		4.258 MWh/a
Stromerzeugung	400 kWel	8.300 h/a		3.320 MWhel/a
Erdgasbedarf		87,4%		8.670 MWhHu/a
				9.537 MWhHo/a
Wärmelieferung Erdgas-NT-Kessel (ML+SL)		85%		24.087 MWh/a
Wärmelieferung		90%		26.763 MWhHu/a
		11,0 kWhHo/m³		29.439 MWhHo/a
				2.676.287 m³/a
Erdgaslieferung				3.063.369 m³/a
Betriebsstrombedarf				425 MWh/a
Summe Hu				35.433 MWh/a
1. Kapitalkosten	Zinssatz:	5%		
Position		Nutzungsdauer	Investition	Annuität
		a	€	Jahreskosten
				€/ a
Erdgas-BHKW im Container		15	247.401	9,63%
Spitzenlast- Kessel (ML)		20	242.000	8,02%
Spitzenlast- Kessel (SL)		20	176.000	8,02%
Hydraulische Einbindung Kessel, Abgasleitung		20	28.328	8,02%
MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme		20	13.200	8,02%
Abgasanlage		20	17.600	8,02%
Kurzzeitwärmespeicher		20	200.613	8,02%
Brauchwasserspeicher 750 l, Speicher-Lade-System		20	132.000	8,02%
Bauliche Maßnahmen HZ		50	158.400	5,48%
Nahwärmenetz		40	820.309	5,83%
Hausübergabestationen		30	270.270	6,51%
Planung		20	285.984	8,02%
Summe Kapitalkosten			(2.592.105)	185.823
2. Laufende Kosten				
Position		Bezugsgröße	Faktor	Jahreskosten
				€/ a
2.1. Instandsetzung				
Erdgas-BHKW		247.401	6,0%	14.844
Spitzenlast- Kessel (ML)		242.000	1,5%	3.630
Spitzenlast- Kessel (SL)		176.000	1,5%	2.640
Hydraulische Einbindung Kessel, Abgasleitung		28.328	1,5%	425
MSR-Technik, Elektroarbeiten, Inbetriebnahme		13.200	1,5%	198
Abgasanlage		17.600	1,0%	176
Kurzzeitwärmespeicher		200.613	1,0%	2.006
Brauchwasserspeicher 750 l, Speicher-Lade-System		132.000	1,0%	1.320
Bauliche Maßnahmen HZ		158.400	1,0%	1.584
Nahwärmenetz		820.309	1,0%	8.203
Hausübergabestationen		270.270	2,0%	5.405
2.4. Wartung und Betrieb				
Erdgas-BHKW		247.401 MWh/a	2,0%	4.948
Heizzentrale + WWB		968.141 MWh/a	1,5%	14.522
Summe Inst.W+B				59.902
2.3. Energiekosten				
Arbeitspreis Erdgas		38.977 MWh/a	50,8 €/MWhHo	1.980.009
Grundpreis Erdgas			2.584 €/a	2.584
Arbeitspreis Betriebsstrom		425 MWh/a	152 €/MWh	64.413
Grundpreis Betriebsstrom			61 €/a	61
Erlös aus Stromverkauf		3.320 MWhel/a	152 €/MWh	-502.980
Summe Energiekosten				1.544.087
Summe laufende Kosten				1.603.989
Jahresgesamtkosten			€/a	1.789.812
Wärmekosten			€/ MWh	63
Gesamtsumme mit MWSt.	19%			2.129.876
Wärmekosten mit MWSt.				75

Tabelle A24 Jahresgesamtkosten der Variante 4

Energiebilanz der Wärmeversorgung					EnEV-Zustand
Wärmebedarf Gebäudeheizung (inkl. hausinterner Verluste)					23.050 MWh/a
Wärmebedarf WW-Bereitung					4.385 MWh/a
Gesamtwärmebedarf der Gebäude					27.435 MWh/a
Netzverluste Nahwärmenetz					910 MWh/a
Wärme ab Heizzentrale					28.344 MWh/a
Durch Kessel zu decken					25625 MWh/a
Wärmelieferung Solaranlage					2719 MWh/a
Sol. Deckungsanteil am Bedarf WW+Netzverluste					51,4%
Sol. Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf					9,6%
Wärmelieferung Holzpelletkessel					3.844 MWh/a
Wärmelieferung					85%
Brennstoffbedarf					4.522 MWhHu/a
5,0 MWhHu/to					904 to/a
0,65 to/m³					1.391 m³/a
Wärmelieferung Gas-NT-Kessel					21.782 MWh/a
Wärmelieferung					85%
bzw.					90%
Brennstoffbedarf					24.202 MWhHu/a
11,0 kWhHo/m³					26.622 MWhHo/a
Betriebsstrombedarf Gas-NT-Kessel					326,7 MWh/a
Betriebsstrombedarf Holzpellet-Kessel					76,9 MWh/a
Betriebsstrombedarf Solaranlage					34,0 MWh/a
1. Kapitalkosten					6%
Position	Zinssatz:	Nutzungsdauer	Investition	Annuität	Jahreskosten
		a	€		€/a
Pelletkessel		20	165.000	8,72%	14.385
Gas-NT-Kessel 3000 kW /1500 kW		20	418.000	8,72%	36.443
Hydraulische Einbindung, Pumpen, Armaturen, etc.		20	80.850	8,72%	7.049
MSR-Technik		20	39.600	8,72%	3.453
Abgasanlage		20	59.400	8,72%	5.179
Hausübergabestationen		30	270.270	7,26%	19.635
Heizungsverteilung		20	8.800	8,72%	767
Nahwärmenetz		40	820.309	6,65%	54.519
Solaranlage		20	2.571.459	8,72%	224.192
Brauchwasserspeicher 750 l, Speicher-Lade-System		20	132.000	8,72%	11.508
Gasanschluss		50	916	6,34%	58
Bauliche Maßnahmen		50	298.439	6,34%	18.934
Planung		20	669.822	8,72%	58.398
Summe Kapitalkosten			(5.534.865)		454.520
2. Laufende Kosten					
Position		Bezugsgröße	Faktor		Jahreskosten
					€/a
2.1. Instandsetzung					
Pelletkessel		165.000	2,0%		3.300
Gas-NT-Kessel 3000 kW /1500 kW		418.000	1,5%		6.270
Hydraulische Einbindung, Pumpen, Armaturen, etc.		80.850	1,5%		1.213
MSR-Technik		39.600	1,5%		594
Abgasanlage		59.400	1,0%		594
Hausübergabestationen		270.270	2,0%		5.405
Heizungsverteilung		8.800	1,5%		132
Nahwärmenetz		820.309	1,0%		8.203
Solaranlage		2.571.459	1,0%		25.715
Brauchwasserspeicher 750 l, Speicher-Lade-System		132.000	1,0%		1.320
Gasanschluss		916	0,5%		5
Bauliche Maßnahmen		298.439	1,0%		2.984
2.2. Wartung und Betrieb					
Pelletkessel + Gas-NT-Kessel		583.000	1,5%		8.745
Heizzentrale + WWB		531.520	1,5%		7.973
Hausübergabestationen		270.270	1,0%		2.703
Solaranlage					12.532
Summe Inst.W+B					87.687
2.3. Energiekosten					
Arbeitspreis Pellets		4.522 MWhHu/a	34,6 €/MWhHu		156.466
Arbeitspreis Gas		26.622 MWhHo/a	50,8 €/MWhHo		1.352.395
Grundpreis Gas					2.584
Betriebsstrom NT-Kessel incl. Grundpreis		326,7 MWh/a	152 €/MWh		49.560
Betriebsstrom Pelletkessel		76,9 MWh/a	152 €/MWh		11.647
Betriebsstrom Solaranlage		34,0 MWh/a	152 €/MWh		5.149
Summe Energiekosten					1.577.800
Summe laufende Kosten					1.753.175
Jahresgesamtkosten					€ / a
					2.207.695
Wärmekosten					€/ MWh
					78

Tabelle A25 Jahresgesamtkosten der Variante 5

Energiebilanz der Wärmeversorgung					
Wärmebedarf Gebäudeheizung (inkl. hausinterner Verluste)					EnEV 23.050 MWh/a
Wärmebedarf WW-Bereitung (inkl. hausinterner Verluste)					4.385 MWh/a
Gesamtwärmebedarf der Gebäude					27.435 MWh/a
Netzverluste					910
Wärme ab Heizzentrale					28.344 MWh/a
Wärmelieferung Solaranlage incl. Verluste					8.180 MWh/a
Sol. Deckungsanteil am Gesamtwärmebedarf					29%
Wärmelieferung Gas-NT-Kessel					20.165 MWhHu/a
bzw.	90%				22.405 MWhHu/a
Brennstoffbedarf			11,0 kWhHo/m³		2.240.526 m³/a
Betriebsstrombedarf Gas-NT-Kessel					302,5 MWh/a
Betriebsstrombedarf Solaranlage					102,2 MWh/a
1. Kapitalkosten					
	Zinssatz:	6%			
Position	Nutzungsdauer a	Investition €	Annuität		Jahreskosten €/ a
Gas-NT-Kessel	20	469.700	8,72%		40.951
Hydraulische Einbindung, MSR-Technik	20	62.700	8,72%		5.466
Abgasanlage	20	19.800	8,72%		1.726
Heizungsverteilung	20	26.400	8,72%		2.302
Gasanschluss (vorhanden)	50	916	6,34%		58
Solaranlage (incl. Langzeitwärmespeicher)	20	8.750.724	8,72%		762.928
Brauchwasserspeicher 750 l, Speicher-Lade-System	20	132.000	8,72%		11.508
Hausübergabestationen	40	270.270	6,65%		17.963
Nahwärmenetz	40	820.309	6,65%		54.519
Bauliche Maßnahmen	50	75.900	6,34%		4.815
Planung	20	659.301	8,72%		57.481
Summe Kapitalkosten		(11.288.021)			959.717
2. Laufende Kosten					
Position	Bezugsgröße	Faktor			Jahreskosten €/ a
2.1. Instandsetzung					
Gas-NT-Kessel	469.700	1,5%			7.046
Hydraulische Einbindung, MSR-Technik	62.700	1,5%			941
Abgasanlage	19.800	1,0%			198
Heizungsverteilung	26.400	1,5%			396
Gasanschluss (vorhanden)	916	0,5%			5
Abgasanlage	19.800	1,0%			198
Solaranlage	8.750.724	1,0%			87.507
Brauchwasserspeicher 750 l, Speicher-Lade-System	132.000	1,0%			1.320
Langzeitwärmespeicher	270.270	1,0%			2.703
Hausübergabestationen	270.270	2,0%			5.405
Bauliche Maßnahmen	75.900	1,5%			1.139
2.2. Wartung und Betrieb					
Gas-NT-Kessel	469.700	1,5%			7.046
Heizzentrale + Verteilung+WWB	511.170	1,5%			7.668
Solaranlage (incl. Langzeitwärmespeicher)	9.020.994	0,5%			45.105
Summe Inst. W+B					166.674
2.3. Energiekosten					
Arbeitspreis Gas	24.646 MWhHo/a	50,8 €/MWhHo			1.252.006
Grundpreis Gas					2.584
Betriebsstrom incl. Grundpreis (Gas-NT-Kessel)	302,5 MWh/a	152 €/MWh			45.886
Betriebsstrom Solaranlage	102,2 MWh/a	152 €/MWh			15.552
Summe Energiekosten					1.316.027
Summe laufende Kosten					1.482.702
Jahresgesamtkosten	€/ a				2.442.419
Wärmekosten	€/ MWh				89